Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE SÄURE-ÄTZ-TECHNIK IM MILCHGEBISS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt
von

Ekkehard Schierle
aus
Gaildorf

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548921_0078

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE SÄURE-ÄTZ-TECHNIK IM MILCHGEBISS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt
von
Ekkehard Schierle
aus
Gaildorf

1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H. Heimann
Berichterstatter: Professor Dr. R. Mayer
(Professor Dr. Dr. P. Riethe)

FOTODRUCK H. RESCH · Georgstr. 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Der menschliche Zahnschmelz	3
2.1. Allgemeines	4
2.2. Anorganische Bestandteile	5
2.3. Schmelzprismen und interprismat.Substanz	6
2.4. Ultrastruktur des "prismenlosen" Schmelzes	11
2.5. Die Schmelzoberfläche	15
3. Die Ätztechnik	16
3.1. Allgemeines	16
3.2. Zitronensäure	18
3.3. Phosphorsäure	19
4. Eigene Untersuchungen	20
4.1. Material und Methode	20
4.2. Das Rasterelektronenmikroskop	21
4.3. Vorversuch	23
4.4. Präparateherstellung	23
5. Ergebnisse	25
5.1. Vorversuch	25
5.2. Ungeätzte Oberfläche des Milchzahnschmelzes	28
5.3. Zitronensäure	29
5.4. Phosphorsäure 37 %	31
5.5. Phosphorsäure 50 %	43
5.6. Vergleich zwischen 37 % und 50 % iger Phosphorsäure	45
5.7. Ätzstrukturen von permanentem Schmelz	53
6. Diskussion	56
7. Zusammenfassung	59
8. Literaturverzeichnis	60

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In den letzten Jahren hat im Bereich der konservierenden Zahnheilkunde eine neue Füllungstechnik größere Bedeutung gewonnen: Die adhäsive Restauration (62).

Wie in einer Reihe von verschiedenen Untersuchungen (8, 9, 31, 42, 43, 59, 62) festgestellt wurde, bietet sie gegenüber der konventionellen, auf den Black'schen Regeln der Kavitätenpräparation basierenden Füllungstechnik zwei entscheidende Vorteile:

1.) Es kann substanzschonender präpariert werden, da zur Retention vorbehandelter Schmelz herangezogen wird.
2.) Infolge der Pfropfpolymerisation läßt sich auch über einen längeren Zeitraum hinweg ein Randspalt klinisch kaum nachweisen.

Allerdings hängt der Erfolg oder Mißerfolg der Verwendung von Adhäsivmaterialien entscheidend von der Größe ihrer H a f t f e s t i g k e i t am Schmelz ab. Diese wiederum wird bestimmt durch die Eigenschaften des Adhäsivs einerseits und durch die Eigenschaften des Substrats (Zahnschmelz) andererseits.

An der Entwicklung und Verbesserung polymerisationsfähiger Kunstharzmaterialien wird schon seit langem gearbeitet. Einige dieser Materialien sind inzwischen in ihren Eigenschaften so vervollkommnet, daß über ihre Anwendungsmöglichkeit bis auf wenige Ausnahmen (Seitenzahngebiet) kaum mehr diskutiert wird. Die intensiven Bemühungen der letzten Jahre konzentrierten sich nun hauptsächlich auf die Vorbehandlung des Schmelzes durch Ätzung mittels verschiedener Säurelösungen (acid etching) zwecks Erreichung einer für die Haftfestigkeit optimalen Oberfläche.

Als günstigstes Relief für die Verankerung des Kunststoffes wird ein sog. "t y p i s c h e s Ä t z m u s t e r" (42) angesehen, welches nur bei einer prismenstrukturierten Oberfläche vorkommt und dadurch entsteht, daß die Säure

unterschiedliche Wirkung auf die Zentren und die Peripherie der Schmelzprismen zeigt.

Ein sog. "a t y p i s c h e s Ä t z m u s t e r", das dem typischen Ätzmuster in Bezug auf die Adhäsion unterlegen ist, soll bei Milchzähnen zu beobachten sein. Dort kommt es angeblich beim Anätzen nur zu einem gleichmäßigen Substanzverlust, d.h. lediglich schon vorhandene Mikroporositäten werden vergrößert (42).

Die Auswirkungen verschiedener Ätz-Agentien auf den Schmelz permanenter Zähne ist inzwischen Gegenstand vieler Veröffentlichungen (4, 18, 20, 28, 29, 30, 46, 52, 57, 58, 61, 70, 83).

Im Gegensatz dazu fehlen aber genauere Untersuchungen über das Verhalten von Milchzahnschmelz beim Ätzen mit verschiedenen Säurelösungen, wie das äußerst geringe Angebot an Literatur darüber eindeutig zeigt. Gerade bei Milchzähnen wäre es aber sicherlich wichtig zu wissen, ob eventuell mit ausgedehnteren Ätzzeiten oder geänderten Säurekonzentrationen ebenfalls ein retentives Ätzmuster zu erzielen ist. Denn die Milchzähne bieten weniger Möglichkeiten zur Verankerung einer Füllung im herkömmlichen Sinne, wegen ihrer anatomischen Abweichungen und Besonderheiten im Vergleich zu den permanenten Zähnen. Man denke zum Beispiel nur an den dünneren Schmelz- und Dentinmantel, den zervikalen Schmelzwulst und das weiträumigere Pulpenkavum mit den ausladenden Pulpenhörnern. Ebenfalls unterscheidet sich der Milchzahnschmelz auch schon durch seinen abweichenden Gehalt an Mineralsalzen vom Schmelz permanenter Zähne.

RIPA, GWINETT und BUONOCORE untersuchten den Aufbau des Milchzahnschmelzes und fanden, daß an der Oberfläche ein sogenannter prismenloser Schmelz bis zu 30 µm Dicke anzutreffen ist (16, 65), andererseits konnte GWINETT aber auch im Milchzahnschmelz eindeutig Prismengrenzen feststellen (16). Deshalb könnte unter Umständen auch bei Milchzähnen ein retentives Ätzmuster zu erzielen sein. Ob und wieweit dies möglich ist, soll im Folgenden untersucht werden.

2. DER MENSCHLICHE ZAHNSCHMELZ

2.1. Allgemeines

Nach LEHNER, PLENK (37) soll der Schmelz als besondere Substanz gegenüber dem Dentin wahrscheinlich schon von EUSTACHIUS im Jahre 1562, bzw. von LEUWENHOEK 1722,sicher aber von BERTIN 1754 unterschieden worden sein.

Er ist, mit einer Härte von 7 auf der Mohsschen Skala, die härteste Substanz des menschlichen Körpers und besteht, lichtmikroskopisch betrachtet, aus Schmelzprismen, welche den Schmelz ohne Unterbrechung von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Schmelzoberfläche durchziehen. Sie stehen senkrecht auf der Dentinoberfläche. In Zahnlängsschnitten findet man wegen ihres gewundenen Verlaufs neben längsgeschnittenen auch quergeschnittene Prismen. Erstere werden nach PREISWERK als P a r a z o n i e n, letztere als D i a z o n i e n bezeichnet.
Der rhytmische Wechsel von Diazonien und Parazonien führt zur Erscheinung der H u n t e r - S c h r e g e r s c h e n S t r e i f e n, welche schon in den Arbeiten von HUNTER (1771) und SCHREGER (1800) erwähnt wurden.

1837 beschreibt RETZIUS die nach ihm benannten Linien, deren Phänomen nach neueren Erkenntnissen durch eine plötzliche Veränderung im Verlauf der Prismenscheiden hervorgerufen wird.

Bei Milchzähnen sind die Retziuslinien nicht so deutlich ausgebildet wie bei den permanenten Zähnen. Dafür tritt aber zwischen prä- und postnatal gebildetem Schmelz eine Linie besonders stark hervor, die G e b u r t s - oder N e o n a t a l l i n i e.

Jede Retziuslinie endet an der Schmelzoberfläche immer zwischen 2 Schmelzwülsten in einer Schmelzfurche.Durch steten Wechsel von Schmelzwulst und Schmelzfurche entstehen an der Schmelzoberfläche Wellen oder P e r i k y m a t i e n, so benannt von PREISWERK 1895. Sie verlaufen meist parallel zur Schmelz-Zement-Grenze und parallel zueinander.

Ihre Häufigkeit nimmt von der Schmelz-Zement-Grenze (30 - 40 pro Millimeter) zur Kaufläche hin ab (10 pro Millimeter). Bei Milchzähnen werden die Perikymatien nur im zervikalen Bereich des Schmelzes beobachtet.

Weiterhin werden im Schmelz noch S c h m e l z - b ü s c h e l - wahrscheinlich schwächer verkalkte Segmente der Schmelzprismen - S c h m e l z k o l b e n und S c h m e l z l a m e l l e n angetroffen. Schmelzlamellen sind den Schmelzbüscheln ähnlich, entspringen ebenfalls an der Dentingrenze, folgen aber im Gegensatz zu Schmelzbüscheln nicht dem Verlauf der Prismen. Eine Unterscheidung zu Schmelzsprüngen ist schwierig. LEHNER und PLENK bezeichnen die Schmelzlamellen als Narben der Schmelzsprünge.

Schmelzkolben sind in den Schmelz übertretende Dentinkanälchen, die noch Odontoblastenfortsätze enthalten sollen. Über ihre Bedeutung bestehen noch Unklarheiten (26, 37, 67).

2.2. Anorganische Bestandteile

Der Mineralgehalt des Schmelzes ist abhängig von der Art des Schmelzes (Milchzahn oder permanenter Zahn), der Nahrung und der Schichttiefe.
Bei Milchzähnen bestehen im Mittel 2,8 % des Trockengewichts aus chemisch gebundenem Wasser und 92,5 % des Trokkengewichts aus Mineralsalzen. Bei permanenten Zähnen sind 2,02 ± 0,04 % des Trockengewichts Wasser und 95,38 % Mineralsalze (67).
Bei den anorganischen Substanzen des Schmelzes handelt es sich neben geringsten Spuren anderer Stoffe, wie Strontium, Blei, Arsenat-, Vanadat-, Silikat- und Karbonationen hauptsächlich um eine Kalziumphosphat-Verbindung, einen Apatit. Und zwar werden die Mikrokristalle der Zahnhartgewebe nach heute allgemein verbreiteter Auffassung aus Hydroxylapatit, $Ca(Ca_3(PO_4)_2)_3(OH)_2$ aufgebaut. Jedoch scheint ein Gemisch von mehreren Kalciumphosphatverbindungen im Schmelz vorzuliegen. Und die Diskussionen über die bisher postulierten Summenformeln der Verbindungen, die zum Aufbau der Gitterstruktur in den Kristalliten dienen, sind noch nicht beendet. Fest steht, daß die mit Röntgenstrahlen-Beugungsdiagrammen ermittelten Größe für Schmelzapatit sich sowohl von Hydroxyl-, Fluor- als auch von Hydroxylkarbonatapatit beträchtlich unterscheidet (67). Ebenfalls unterscheidet sich die Größe der Apatitkristalle beim reifen Schmelz und beim Milchzahnschmelz voneinander (67).
Heute wird die Form der Kristalle allgemein als hexagonalprismatisch angesehen, daneben gibt es aber auch Nadel- oder Blättchenformen (67).
Diese Kristalle sind die Bausteine der Schmelzprismen.

2.3. Schmelzprismen und interprismat. Substanz

Die Schmelzprismen sind die größten Baueinheiten des Zahnschmelzes. Sie sind rundliche, rundlich-ovale bzw. sechseckige Gebilde mit einem Durchmesser von 3 - 6 µm welcher von innen nach außen zunimmt. Ihre Länge ist abhängig von ihrer Lokalisation und ihrem Verlauf. Wie lichtmikroskopische Bilder zeigen, sind sie von hellen, etwa 1 um dicken Säumen umgeben, der interprismatischen Substanz oder Prismenscheide. Nach W.MEYER findet sich in ihr die Hauptmenge organischer Substanz, wogegen die Prismen die Hauptträger der anorganischen Substanz sein sollen. Nach neueren Vorstellungen, die vor allem mit Hilfe elektronenmikroskopischer Untersuchungen (23, 26, 38) entwickelt wurden, unterscheiden sich beide Substanzen nicht grundsätzlich voneinander, sondern sind nur durch eine andere Lage der Apatitkristalle charakterisiert.

HÖHLING, ERWIG und wiederum HÖHLING fanden bei ihren Untersuchungen 1960 bzw. 1966 nur dichte Lagen von Kristallen und keine Zonen organischer Substanz. Daraus schlossen sie, daß im Schmelz keine organische interprismatische Substanz vorliege, sondern daß sich die Schmelzprismen direkt berühren (26, 27).

HELMCKE und Mitarbeiter beobachteten 1963, daß sich die länglich geformten Apatitkristalle im Schmelz zum Schmelzprismenrand hin gegen die Achse der Schmelzprismen mehr und mehr neigen, also ausfiedern (24).

Schema der Ausfiederung der Apatitkristallite in den "Schmelzprismen"

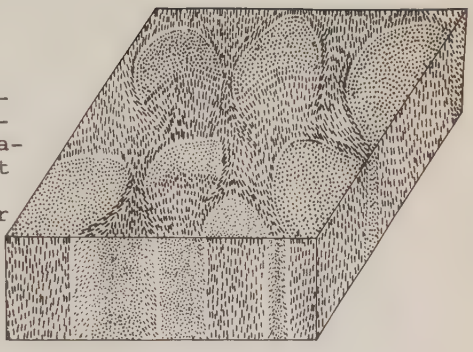
(übernommen vom H.J. Höhling, 1966)

Durch das Ausfiedern kommt es beim Zusammenlagern zweier Prismen zu einer abrupten Änderung der Kristallorientierung an der Grenzfläche und dadurch entsteht im Lichtmikroskop das Bild der sogenannten "interprismatischen Substanz".

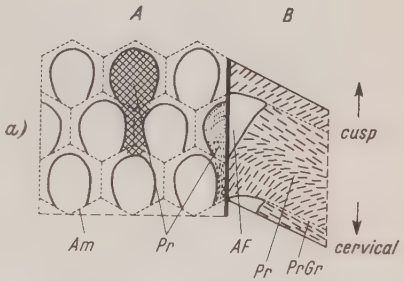
Die Lage der Kristalle in der Kontaktzone zwischen 2 benachbarten Schmelzprismen, schematisiert. (Darstellung entnommen aus G.H.Schumacher, H.Schmidt, 1972)

Nun können aber die Prismen zueinander unterschiedlich angeordnet sein und je nachdem spricht man von 1. Schlüsselloch-, 2. Pferdehuf-, oder 3. echtem Prismentyp. Im menschlichen Schmelz soll die 3. Form allerdings nur in einer dünnen Zone an der Schmelz-Dentin-Grenze auftreten (26).

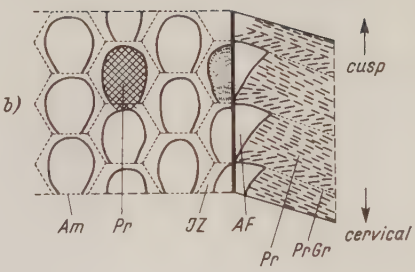
Schematische, dreidimentionale Darstellung der Anordnung der Apatitkristallite in den "Schmelzprismen" und deren seitlichen Ausläufer. Die Striche stellen die Apatitkristallite dar. In der Frontansicht wechseln Zonen längs- mit Zonen quergetroffener Apatitkristallite ab. Es handelt sich hier um den Schlüsselloch-"Schmelzprismen"-Typ der Abbildung a)



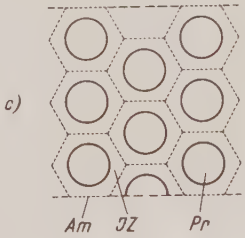
Schematische Darstellung der drei Schmelzprismentypen in ihrer Beziehung zu den Ameloblasten.
a) Darstellung des Schlüssellochtyps oder Vogelschwingentyps. Durch Schraffierung ist ein "Schmelzprisma" des Schlüssellochtyps (mit dem seitlichen Fortsatz) im Querschnittsbild (A) markiert. Rechts im Querschnittsbild ist durch Striche, die die länglichen Apatitkristallite anzeigen sollen, gezeigt, wie sich die Kristallite beim Übergang in den seitlichen Ausläufer mehr und mehr gegen die "Schmelzprismen"-Achse neigen. Das ist im Längsschnitt (B) noch deutlicher zu erkennen.



b) Darstellung des "Pferdehuf"-Typs. Die sechseckigen Ameloblasten-Zellen (Am) sind in Reihen angeordnet wie auch die arkadenförmigen "Schmelzprismen" (Pr). Dadurch kommen pferdehufartige "Schmelzprismen" zustande, von denen eines schraffiert dargestellt ist. Durch diese Anordnung ergibt sich eine interprismatische Zone (IZ). An der offenen Seite der "Schmelzprismen"sind die Kristallite nicht so stark gegen die "Schmelzprismen"-Achse geneigt wie im seitlichen Ausläufer des Schlüssellochtyps, wie die als Striche eingezeichneten Apatitkristallite im Quer- und Längsschnitt zeigen.



c) Darstellung eines "Schmelzprismen"-Typs im Querschnitt, bei dem man von Prismen sprechen könnte, da die Prismen von einer interprismatischen Zone völlig umrandet sind.



Zeichenerklärung:

Am = Ameloblasten-Zelle

AF = Ameloblastenfortsatz (sägezahnartig)

Pr = "Schmelzprisma"

PrGr= "Schmelzprismen"-Grenze

Darstellung entnommen aus H.J.HÖHLING, 1966.

2.4. Ultrastruktur des "prismenlosen" Schmelzes

Um die Struktur der äußeren Schmelzschicht zu klären, wurde 1966 von RIPA, GWINETT und BUONOCORE 28 Milchzähne und 100 bleibende Zähne in polarisiertem Licht, durch Phasenkontrastmikroskopie und mikroradiographisch untersucht. Dabei zeigte sich an allen Milchzähnen und an 70 % der bleibenden Zähne eine anscheinend "prismenlose" Schmelzschicht, die durchschnittlich annähernd 30 µm dick war und parallel zur Oberfläche verlief.

Bei Milchzähnen bedeckte diese Schicht sowohl die ganze approximale Oberfläche, als auch die bukko-lingualen Flächen und erstreckte sich in 86 % der Fälle bis zur Mitte der Krone oder sogar bis zur Höckerspitze. Bei 14 % war nur das gingivale Drittel betroffen.

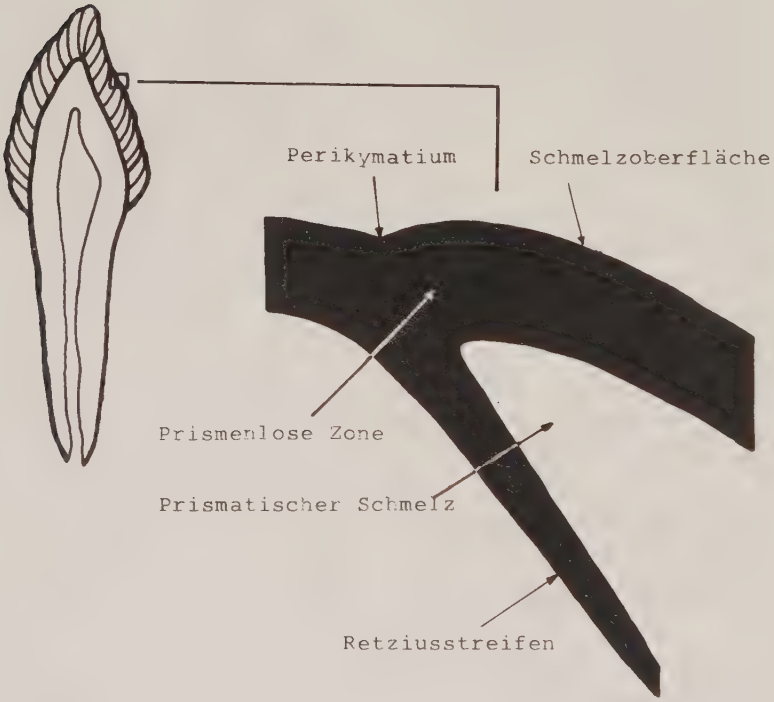
Von den 70 % der bleibenden Zähne, die eine "prismenlose" Schmelzoberfläche aufwiesen, zeigten 57 % diese Erscheinung nur im gingivalen Drittel, 36 % bis zur Hälfte der Kronen und 7 % bis zu den Höckerspitzen.

Grundsätzlich gibt es 2 Arten von sogenanntem "prismenlosen" Schmelz. Die erste kommt hauptsächlich bei bleibenden Zähnen, weniger bei Milchzähnen, vor und weist eine charakteristische gestufte Gestalt auf. Die zweite, die beträchtlich häufiger bei Milchzähnen als bei bleibenden gefunden wird, erscheint als ein 30 µm dickes, nahezu gleichmäßiges Band.

Beiden gemeinsam ist, daß das Bild des sogenannten "prismenlosen" Schmelzes immer dadurch zustande kommt, daß die Kristallite eine zueinander parallele Lage einnehmen.

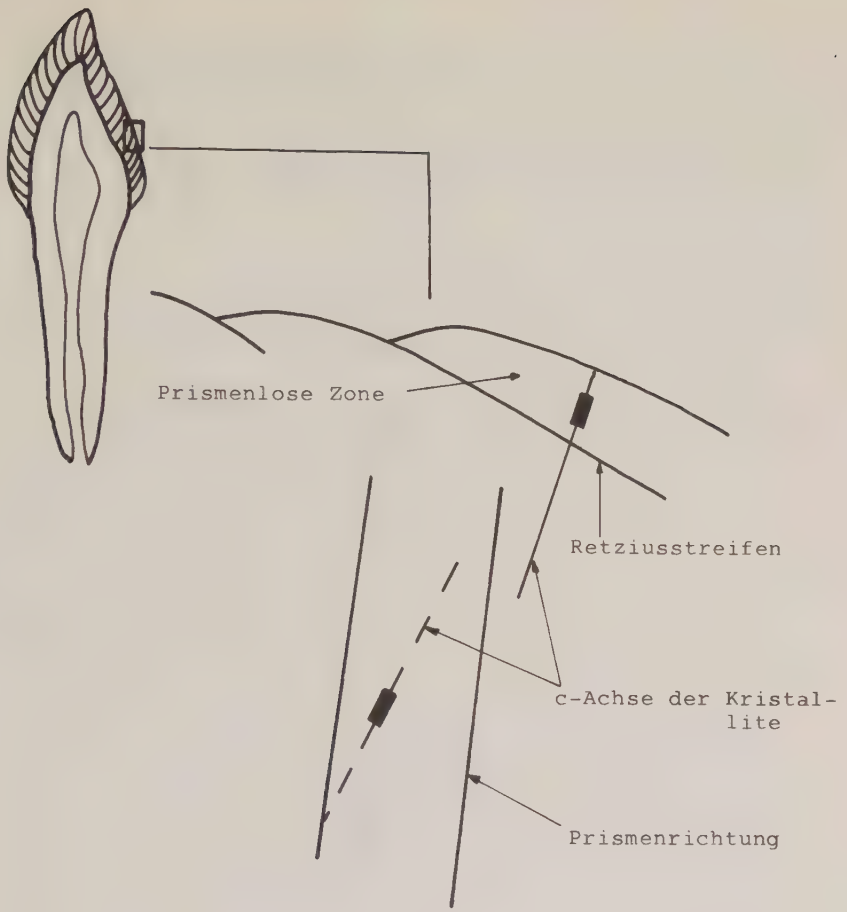
Bei bleibenden Zähnen sind die Kristallite mit ihrer c - oder optischen Achse senkrecht zu den die Schmelzoberfläche erreichenden Retziusstreifen angeordnet.

Dabei liegt ihre Hauptrichtung innerhalb der Grenzen der Abweichung, die für die Ausfiederung der Kristallite im tieferliegenden prismatischen Schmelz gilt (17).



Schematische Wiedergabe der Lage und Anordnung der röntgendichteren Zonen im Bezug zum "prismenlosen" Schmelz und den Retziusstreifen.

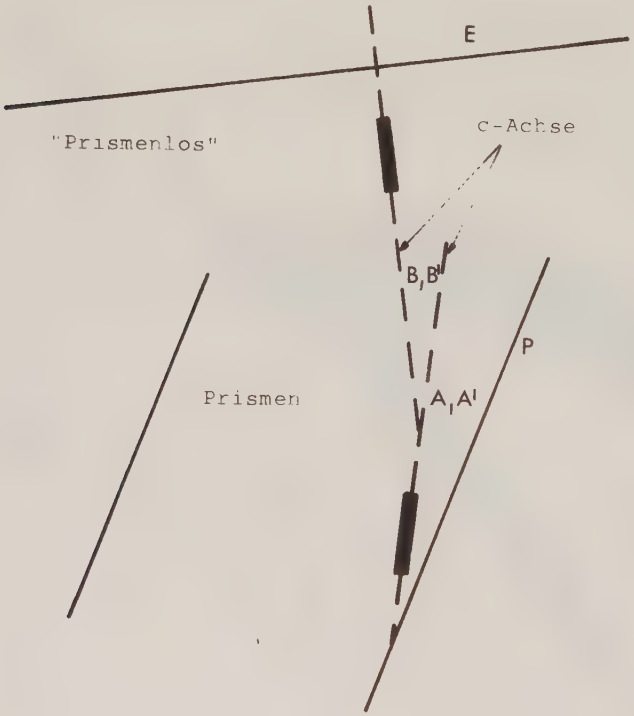
Umzeichnung nach GWINETT (1967)



Das Schema zeigt die Hauptrichtung der Kristallite in der "prismenlosen" Schicht und im darunterliegenden prismatischen Schmelz. Die optischen Achsen der Kristallite in der "prismenlosen" Schicht und diejenigen der Kristallite in der prismatischen Schicht nehmen annähernd die gleiche Richtung ein.

Umzeichnung nach GWINETT (1967)

Bei Milchzähnen ist die allgemeine Orientierung der Kristallite im "prismenlosen" Schmelz ungefähr senkrecht zur Schmelzperipherie, wobei ihre Richtung von der Lage der Kristallite im darunterliegenden, prismatischen Schmelz deutlich abweicht, nämlich ungefähr 30° (16).



Das Schema zeigt den am häufigsten vorkommenden Grad der Kristallit-Abweichung, der mit Hilfe des Polarisationsmikroskops und Röntgenbeugungsanalysen gemessen wurde. A,A' gibt den bevorzugten Winkel der Kristallit-Anordnung zur Schmelzprismenachse (P) an, B,B' ist die Differenz des Winkels, den die Kristallite der "prismenlosen" Schicht und die Schmelzprismen zueinander einnehmen, abzüglich des Wertes für A,A'. Die Kristallite in der äußeren "prismenlosen" Schicht verlaufen nahezu senkrecht zur Schmelzperipherie (E).
Umzeichnung nach GWINETT (1966)

2.5. Die Schmelzoberfläche

Durch Anwendung von Säuren und Komplexbildnern läßt sich von der Schmelzoberfläche aller Zähne eine mehr oder weniger komplette Gewebsschicht isolieren, das Schmelzoberhäutchen (SOH).

Man kann es älteren Berichten zufolge in 3 Schichten, nämlich in primäres, sekundäres und tertiäres SOH unterteilen. Über die Genese und Struktur des Schmelzoberhäutchen gibt es unterschiedliche Auffassungen.

Nach der klass. Lehre ist das primäre SOH, das nach seinem ersten Beschreiber NASMYTH (1839) auch als Nasmythsche Membran bezeichnet wird, als kutikulare Ausscheidung der Adamantoblasten in der letzten Phase der Schmelzbildung anzusehen. Es hat eine Dicke von 0,2 - 1 µm.

Das sekundäre SOH ist 2 - 10 µm dick und entsteht nach GOTTLIEB während des Zahndurchbruchs als Epithelkutikula.

Das tertiäre SOH ist exogener Herkunft und posteruptiv durch die Adsorption von Bakterien, Epithelzellen, Speiseresten, Proteinen u.a.m. entstanden (67).

In jüngster Zeit wurde wiederholt die Frage aufgeworfen, ob das SOH insgesamt ein exogenes Produkt ist. Zu dieser Theorie tragen vor allem die elektronenmikroskopischen Untersuchungen von GRAY - FRANCIS 1963, LENZ und MÜHLEMANN 1963, MECKEL 1965 und wiederum LENZ 1966 bei.

Fest steht, daß das Schmelzoberhäutchen 5 - 30 µm dick ist, aus organischem Material besteht und infolge seiner Resistenz gegenüber Säuren, Alkalien und Enzymen eine gewisse Schutzfunktion für den darunterliegenden Schmelz ausübt (67).

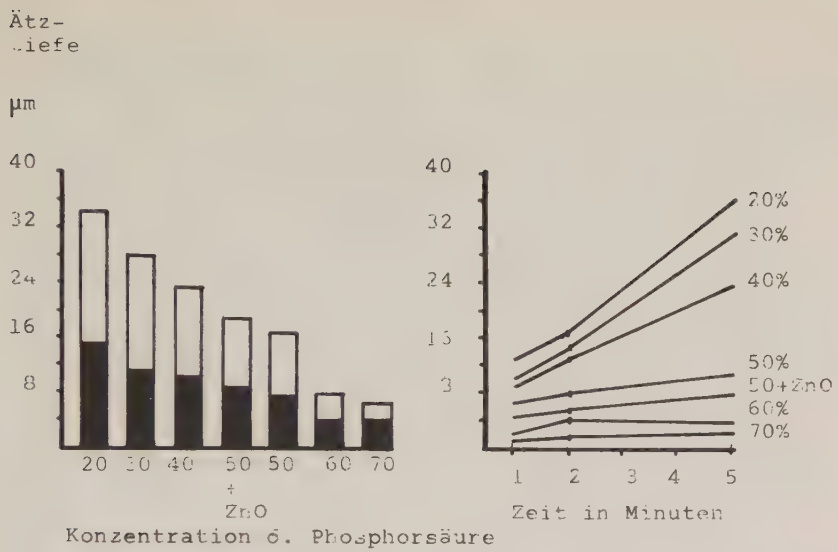
3. DIE ÄTZTECHNIK

3.1. Allgemeines

BUONOCORE ätzte 1955 als erster in der konservierenden Zahnheilkunde den Zahnschmelz mit einer Säure an, und zwar verwendete er 50 %ige Phosphorsäure gepuffert mit 7 % ZnO. Er versprach sich dadurch eine verstärkte Haftung der Füllung (4).
Seither sind bei permanenten Zähnen eine Reihe von Untersuchungen angestellt worden. Alle mit dem Ziel, der Füllung eine Oberfläche anzubieten, die es ihr optimal erlaubt, sich zapfenförmig zu verankern, sich festzuhalten und somit gegen Zug- und Abscherkräfte Widerstand zu leisten (8, 20, 32, 34, 46, 58, 61, 66, 77).
Die Adhäsion und mechanische Verankerung wird im wesentlichen erreicht durch:

1. Entfernung des Schmelzoberhäutchens und der Verunreinigung der Schmelzoberfläche.
2. Durch Oberflächenvergrößerungen und
3. Schaffung von genügend ausgedehnten Spalträumen zwischen Prisma und interprismatischer Substanz.

Wie sich durch die Untersuchungen von GWINETT (1971) und SILVERSTONE (1974) herausstellte, ist die Ätzstruktur nicht nur, wie schon weiter vorne erwähnt, eine Funktion der Lage der Prismen, sondern ebenfalls abhängig von der Art und der Konzentration der angewandten Säure.
Andere Autoren schrieben der Dauer der Säureeinwirkung ebenfalls eine wichtige Rolle zu (42, 47). Bei permanenten Zähnen wird die Eindringtiefe, je nach Struktur des behandelten Schmelzes, Säureart und Ätzzeit mit 15 - 30 µm angegeben. Gleichzeitig tritt ein Substanzverlust von 6 - 10 µm ein (42, 43, 46).



Sofern Schmelz vom P r i s m e n t y p vorliegt, sind 2 Arten der Säurewirkung zu beobachten. Und zwar werden entweder die Prismenzentren stärker angegriffen oder aber die Prismenränder. Wodurch dies zustande kommt, ist bis heute ungeklärt. Auf alle Fälle unterscheidet sich aber die Löslichkeit des Schmelzes in den Prismenzentren von der der Prismenperipherie. Das entstehende Muster ähnelt einer Bienenwabenstruktur und ist das für die Adhäsion günstigste.

Ein weniger retentives Ätzmuster liefert fluorhaltiger Schmelz. Hierbei führt die Säure nur zu einem gleichmäßigen Substanzverlust, lediglich schon vorhandene Mikroporositäten werden vergrößert (45, 59, 79). Auch bei Milchzähnen soll nur das atypische, weniger retentive Ätzmuster zu erwarten sein. Darüber existieren jedoch keine größeren Untersuchungen. Die Vermutung stützt sich auf die Schriften von LUTZ 1974, der die Angaben GWINETTs über die Existenz einer prismenlosen äußeren Schicht bei Milchzähnen (16) übernommen hat.

Die richtige Vorbehandlung des Schmelzes (Konditionierung) wird von LUTZ, neben einer Reihe von anderen Autoren (8, 54), wie folgt beschrieben:

1. Reinigung der Schmelzoberfläche mit entweder 5 % Natriumhypochlorit und Wattepellet oder maschinell mit Bimsmehl und Nylonbürstchen.
2. Schaffen von Federrändern zur Oberflächenvergrößerung und zum besseren Übergang der Füllung zum Schmelz.
3. Anätzen des Schmelzes 1 - 2 1/2 min. lang, je nachdem ob reichlich prismenfreier oder stark fluorhaltiger Schmelz vorliegt.
4. Wegsprayen der Säure mit ölfreiem Wasserspray, da sie die Polymerisation des Kunststoffes hemmt.
5. Trocknen der Fläche mit ölfreier Luft.

Der vorbehandelte Schmelz sollte klinisch betrachtet eine matte, weißlich- opake Oberfläche aufweisen (43). Zur Zeit wird die Schmelzätzung vorwiegend mit folgenden Lösungen vorgenommen (8, 43):

- Zitronensäure in einer Konzentration von 50 %
- Phosphorsäure in einer Konzentration zwischen 35 und 65 %.

3.2. Zitronensäure

Zitronensäure wird neben der Schmelzätzung auch zum Reinigen von Kavitäten (Cavity Cleanser) und zum Säubern präparierter Kronen- und Brückenpfeilern verwendet. Ihre Anwendung ist aber sowohl hier wie da umstritten, da sie erstens bei der Ätztechnik keine guten Ergebnisse liefern soll (8), zweitens jedoch beim Reinigen des Dentins die Nachteile einer Säure, wie etwa Pulpenreizung und Dentintubulierweiterung entwickelt.

3.3. Phosphorsäure

Die meisten Autoren sind sich heute darüber einig, daß am Schmelz in vivo die Phosphorsäure das geeignetste Mittel ist, die Oberfläche optimal für den Kunststoff vorzubereiten. BUONOCORE et. al. plädierte 1968 für eine 50 % - Phosphorsäure, die mit 7 % Zinkoxid gepuffert ist (7), GWINETT und MATSUI (21) und RETIEF (61) tendieren mehr zu ungepufferten 50 %igen Phosphorsäure. SILVERSTONE fand bei seinen Untersuchungen 1974, daß Phosphorsäure bei einer Konzentration von 30 % die beste Wirkung auf den Schmelz zeige. JÖRGENSEN schließlich vertrat am Symposium über die Ätztechnik in Stockholm und St. Moritz Ende 1974 die Ansicht, daß keine signifikanten Unterschiede in der Wirkung auf den Schmelz zwischen Konzentrationen von 35 % und 50 % bestehen.

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

In den folgenden Untersuchungen, mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops (REM), wurde die Auswirkung verschiedener, gebräuchlicher Säurelösungen auf den Schmelz von Milchzähnen erforscht. Außerdem sollte ermittelt werden, ob die Ätzzeit bzw. die Lage des Schmelzes entscheidenden Einfluß auf die Struktur des Ätzmusters ausübt.

4.1. Material und Methode

Zur Auswertung kamen insgesamt 88 Flächen von 10 Milchmolaren, 5 Eckzähnen, 4 Schneidezähnen, sowie 1 bleibender Schneidezahn.

Alle Zähne wurden für kurze Zeit in 96 % Alkohol gelagert. In Anlehnung an die Schmelzätzversuche Castagnolas bei permanenten Zähnen (8) erfolgte auch hier die Ätzung, bzw. Konditionierung der Proben mit den gebräuchlichsten Markenfabrikaten und zwar mit

- Zitronensäure 50 % (Cavity Cleanser 9060, Lee Pharmaceuticals)
- Phosphorsäure 50 % gepuffert mit 7 % Zinkoxid (Säurelösung des Nuva Seal/Fil Systems,Caulk)
- Phosphorsäure 37 % (Säurelösung von Enamel Bond und Concise, 3 M sowie Isopast, Vivadent.

Als Ätzzeiten wurden bei den Milchzähnen bei allen Säuren jeweils 1, 2, 3, 4, 5 und 6 Minuten gewählt, bei 37 % Phosphorsäure kam noch ein Versuch mit 1/2 min. Ätzdauer hinzu.

Der permanente Zahn wurde mit 37 % Phosphorsäure sowohl 1 als auch 2 min. angeätzt.

Die geätzten Oberflächen und ihre unbehandelten Kontrollzonen wurden mit Hilfe des REM Stereoscan Cambridge untersucht.

4.2. Das Rasterelektronenmikroskop

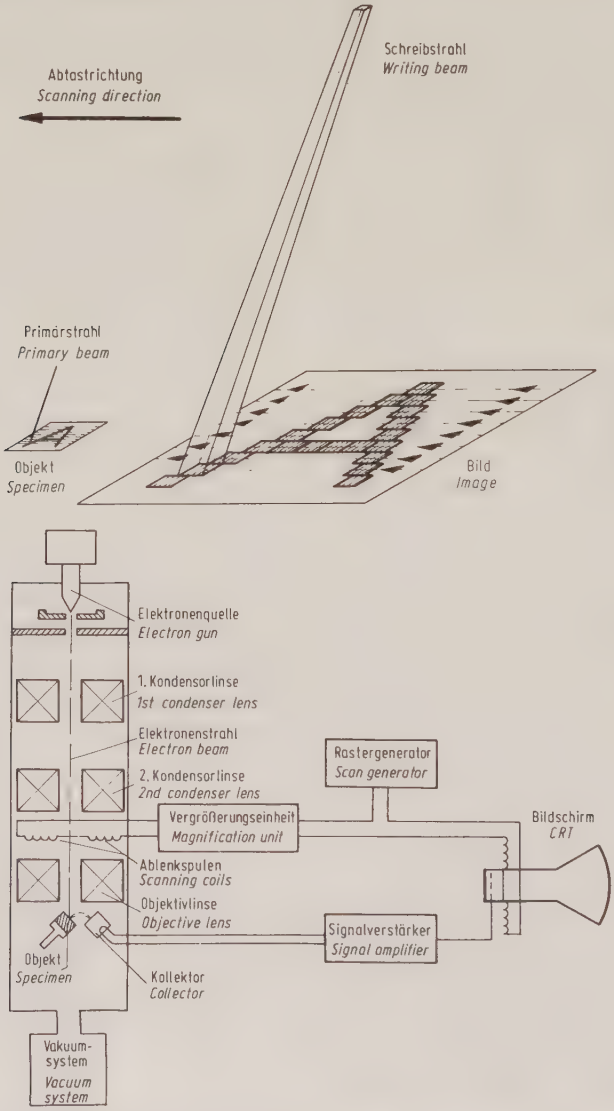
Das Rasterelektronenmikroskop wurde 1938 von MANFRED v. ARDENNE zunächst für Durchstrahlungszwecke entwickelt und eingesetzt. Auf dem Markt ist es seit 1965 und zwar wurde es ursprünglich in der physikalischen und chemischen Grundlagenforschung verwendet, wo es der Aufklärung von Oberflächenstrukturen diente. Etwas später bediente man sich in der Biologie und Medizin ebenfalls des REM um Oberflächenstudien zu betreiben.

Und zwar sind es die 300 mal größere Schärfentiefe und das 10 mal bessere Auflösungsvermögen, die das REM gegenüber dem Lichtmikroskop auszeichnen.

Bau- und Arbeitsweise:

Das REM arbeitet im Hochvakuum, bei 10^{-5} Torr und zwar derart, daß ein Primärelektronenstrahl, nach Bündelung mit Hilfe elektromagnetischer Linsen, so, daß er einen Durchmesser von 100 Å besitzt, auf das gold-palladium-bedampfte Objekt auftrifft. Dieses tastet er mit Hilfe einer Ablenkvorrichtung Zeile für Zeile ab. Dabei werden aus dem Goldüberzug Sekundärelektronen freigesetzt, die vom Kollektor gesammelt werden. Die einzelnen Impulse, je nachdem, ob mehr oder weniger Elektronen, werden über einen Signalverstärker dem Leuchtschirm zugeleitet. Dabei muß selbstverständlich die Ablenkung des Primärstrahls synchron zur Ablenkung des Schreibstrahles vor sich gehen.
Auf die technisch aufwendigen Einzelheiten, die ein so kompliziertes Mikroskop erst ermöglichen, möchte ich nicht weiter eingehen. Erwähnt sei nur noch, daß das REM von heute noch mehr Möglichkeiten zur Strukturanalyse (wie z.B. die Mikrosonde, mit der man gewisse Hohlräume im Vakuum eröffnen kann), ja sogar zur chem. Analyse besitzt. (Lit.siehe 56)

Für die vorliegende Untersuchung wurde ein Exemplar der FIRMA CAMBRIDGE INSTR.COMP. verwendet und zwar das Modell STEREOSCAN MARK IIa.



Schemata der Arbeitsweise und des Aufbaus eines Rasterelektronenmikroskops.(Darstellung entnommen aus J.Ohnsorge, R.Holm, 1973)

4.3. Vorversuch

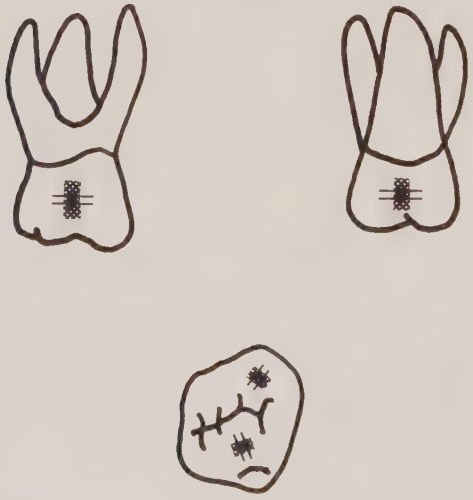
Sowohl RIPA und Mitarbeiter (65), als auch EIDELMAN (12) beschrieben den Prismenverlauf innerhalb des Milchzahnschmelzes. Sie berichteten auch darüber, daß die Prismenstruktur ungefähr 30 µm vor Erreichen der Schmelzoberfläche nicht mehr zu verfolgen sei. Um nun ihre Befunde zu bestätigen, wurde zunächst ein Eckzahn besonders untersucht. Nach gründlicher Reinigung mit einer Bimsmehl-Wasser-Mischung und einem rotierenden Nylonbürstchen wurde die anatomische Krone mit Hilfe einer diamantierenten Scheibe unter Wasserkühlung vom Rest der Wurzel abgetrennt. Die Krone wurde noch einmal mit Wasser gespült, mit dem Luftbläser getrocknet und dann in bucco-lingualer Richtung mit einer sauberen Zange gespalten. Daraufhin wurde sie mit Leitsilber auf einer Metallplatte, dem REM-Objektträger, fixiert. Anschliessend erfolgt 10 Minuten lang eine Ätzung mit 50 % Phosphorsäure auf allen Seiten. Danach wurde wieder gründlich mit Wasser gespült und der Zahn wieder mit dem Luftbläser getrocknet. Er wurde im Vakuum mit einer 150 Å dicken Gold-Palladiumschicht überzogen und dann im REM betrachtet.

4.4. Präparateherstellung

Alle übrigen Zähne, einschließlich des bleibenden Frontzahnes wurden wie folgt behandelt:

1. gründliche Reinigung mit Bimsmehl-Wassergemisch und rotierendem Nylonbürstchen
2. Abtrennen der anatomischen Krone mit Hilfe einer wassergekühlten, diamantierten Scheibe
3. Spülung mit Wasser und anschließendes Trocknen mit dem Luftbläser
4. Fixieren auf Metallscheibe

5. In der Mitte der oralen, vestibulären Fläche und, insofern es möglich war, auch in der Mitte der Höckerabhänge wurde mit einer Diamant-Kugel ein Graben von 1 mm Breite und 1/10 bis 1/20 mm Tiefe gezogen.
6. Absprayen mit Wasser und anschließend Trocknen mit dem Luftbläser.
7. Anätzen eines 2 mm durchmessenden Bezirkes mit einer der 3 Säurelösungen auf der oralen, vestibulären und auch okklusalen Seite, und zwar sowohl in den mit der Kugel gezogenen Graben als auch direkt auf der natürlichen Oberfläche.
8. Gründliches Abspülen mit Wasser und Trocknen.
9. Bedampfen des Präparates im Vakuum mit einer 150 Å dicken Gold-Palladiumschicht.
10. Untersuchung im Stereoscan.



Schematische Darstellung eines Milchmolaren. Eingezeichnet sind diejenigen Bezirke, die geschliffen (═), angeätzt (▩) und anschließend untersucht wurden.

5. ERGEBNISSE

5.1. Vorversuch

Es ergaben sich die nach den Angaben GWINETTs,1966, zu erwartenden Ergebnisse. Fast auf der gesamten Bruchfläche waren Prismenstrukturen zu sehen. Die Prismen begannen an der Schmelz-Dentin-Grenze und liefen senkrecht dazu nach außen. Im Mittel waren sie bis ungefähr 25 µm vor der Schmelzoberfläche zu verfolgen.

Es wurden aber auch Stellen angetroffen, an denen der Verlauf der längsgetroffenen Prismen unterbrochen wurde durch Schollen, deren Bild hervorgerufen wurde durch die Anätzung sogenannten "prismenlosen" Schmelzes.

Oral und vestibulär zeigten sich bei diesem Präparat Unterschiede hinsichtlich der Ausprägung der Prismenstrukturen und der Dicke der "prismenlosen" äußeren Schicht. So traten die Prismen vestibulär zahlreicher und deutlicher in Erscheinung als oral. Die äußere, "prismenlose" Schicht war vestibulär ungefähr 15 - 20 µm dick, oral jedoch betrug ihre Dicke 25 - 30 µm.

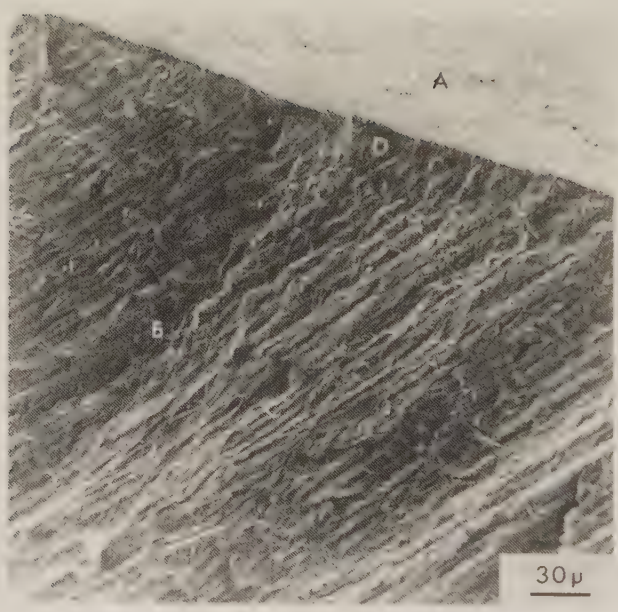


Abb.1

Bruchfläche des Schmelzes eines oberen Eckzahnes (63) Vestibuläre Seite 10 min. mit 50 %iger Phosphorsäure geätzt. Zu sehen ist die Kante zwischen der labialen Oberfläche (A) und der Bruchfläche (B). Weiter zu erkennen sind die in Längsrichtung getroffenen angeätzten Prismen (C) und eine ungefähr 30 µm dicke prismenlose Schicht (D) an der Oberfläche.

Vergrößerung 340 fach. (Verkleinert auf 2/3)

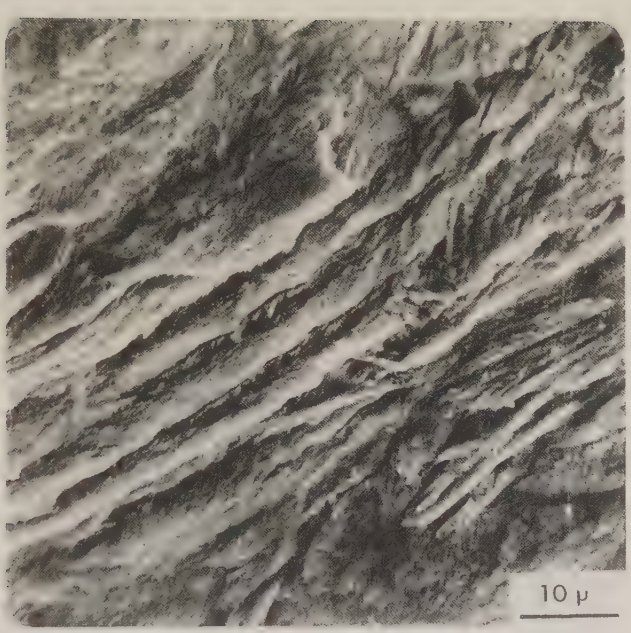


Abb. 2

Ausschnittvergrößerung
aus Abb. 1 zeigt einzelne
Prismen.

Vergrößerung 1700 fach.
(verkleinert auf 2/3)

5.2. Ungeätzte Oberfläche des Milchzahnschmelzes

Bei der Betrachtung einer nicht angeätzten Schmelzoberfläche eines Milchzahnes, der nur in der oben beschriebenen Art gereinigt wurde, fiel ein relativ glattes Bild auf. Geringe Kratzer, die nach stärkerer Vergrößerung zu sehen waren, wurden als Reinigungsspuren gedeutet. Der Milchzahnschmelz zeigt keine Mikrodepressionen, keine Perikymatien und keine Strukturen, die auf das Vorhandensein von Prismenenden schließen lassen.

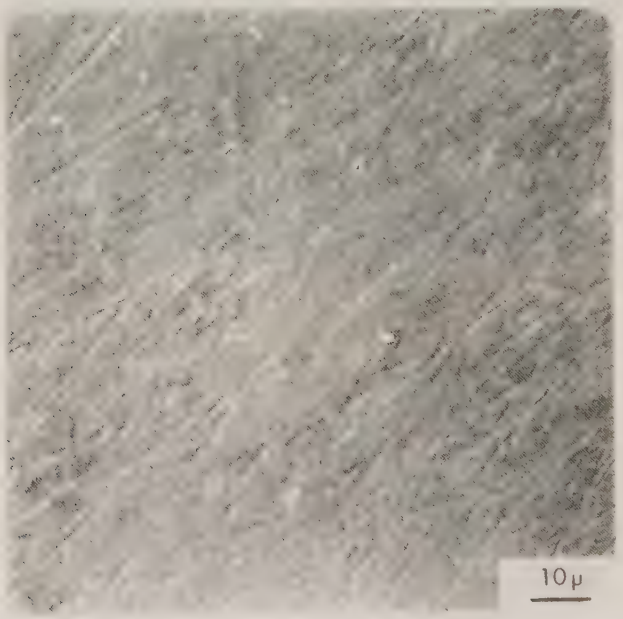


Abb.3

Gereinigte, ungeätzte Oberfläche in Äquatornähe eines unteren Molaren (75). Keine Ondulationen sichtbar.

Vergrößerung 1000 fach.
(verkleinert auf 2/3)

5.3. Zitronensäure

Mit Zitronensäure wurde nur das Verhalten der vestibulären und oralen Flächen geprüft. Jedoch konnte die Säure unter den gegebenen Bedingungen (Ätzzeit 1 - 6 min.) bei keiner der Proben eine stärkere Wirkung entfalten. Deshalb wurden Bilder nur vom Bereich des Übergangs Schliffstelle - ungeschliffener Schmelz hergestellt. Die Ätzung selbst übergreift beide Schichten, äußert sich aber nur dadurch, daß die Oberfläche zahlreiche Mikrodefekte aufweist.

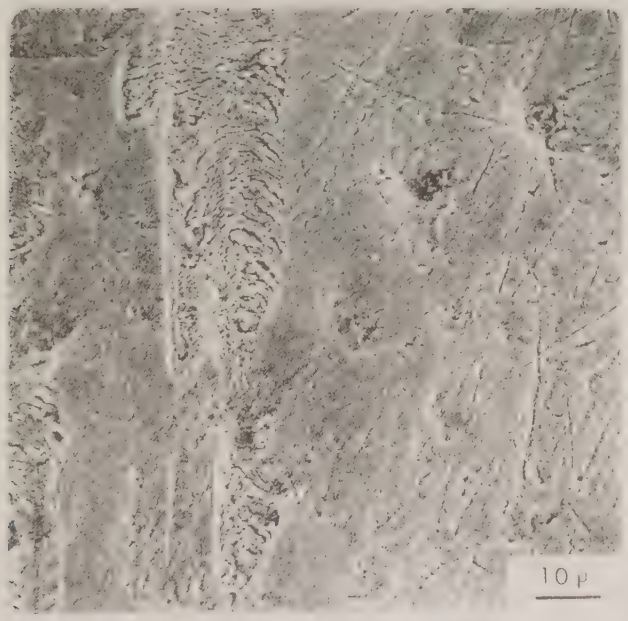


Abb.4

Bukkale Fläche eines unteren Molaren (75)
1 min. mit Zitronensäure geätzt.
Kein retentives Ätzmuster.
Nur geringe Auswirkung der Säure.

Vergrößerung 1100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

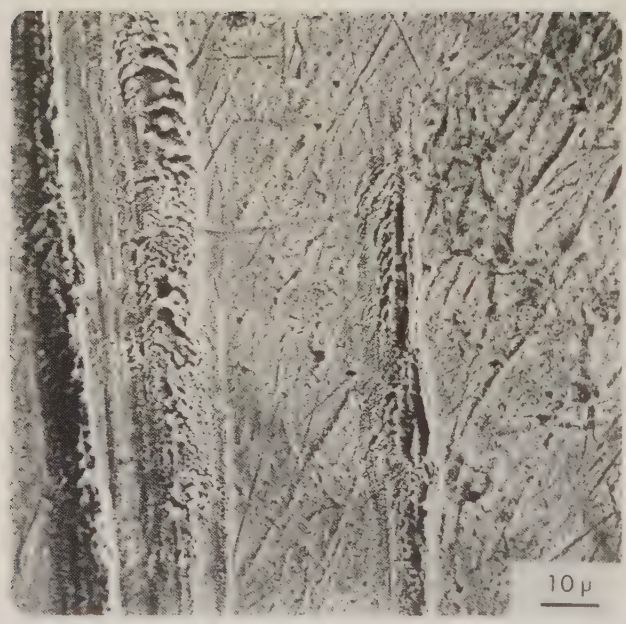


Abb. 5

Linguale Fläche eines unteren Molaren (75)
6 min. mit Zitronensäure geätzt.
Kaum Auswirkungen der Säure.

Vergrößerung 1100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

5.4. Phosphorsäure 37 %

Der mit Phosphorsäure behandelte Schmelz zeigt im allgemeinen eine größere Wirkung, als der, welcher Zitronensäure ausgesetzt war.
Bei 37 % Phosphorsäure sind einige Unterschiede in der Ätzstruktur festzustellen, die von der Schmelzschicht und der Ätzzeit abhängig sind. So wurde festgestellt, daß sich niemals ein retentives Ätzmuster ergab, falls die schon erwähnte prismenlose Schicht an der Schmelzoberfläche nicht zuvor entfernt wurde. Bei verlängerten Ätzzeiten ließ sich nur eine unregelmäßig mit Platten bedeckte Oberfläche feststellen (Abb.8, 16).
Andere Ergebnisse erhielt man dagegen, sobald die prismenlose Schicht entfernt war. So genügte schon eine Ätzzeit von 1 min. um sehr gute retentive Ätzmuster zu erhalten (Abb.10). Es ist aber davon abzuraten, die Ätzzeit weiter als auf 1 min. zu verkürzen, da dann die Säure ihre Wirkung auf das Prismergefüge nicht genügend entwickeln kann (Abb.7).
Daß für die Erzielung einer retentiven Ätzstruktur nicht eine verlängerte Ätzzeit, sondern, wie schon oben erwähnt, die Entfernung der prismenlosen Schicht entscheidend ist, zeigen die Abbildungen 13 und 15 sehr schön.
Wie bei den permanenten Zähnen gibt es auch bei den Prismen des Milchzahnschmelzes 2 bevorzugte Angriffsarten der Säure:
1. Herauslösen des Schmelzprismenzentrums (Abb.10)
2. Wegätzen der Schmelzprismenperipherie (Abb.14)
Ebenfalls beobachtet werden konnten die bereits von den permanenten Zähnen bekannten, verschiedenen Formen der Schmelzprismenstruktur (Abb.10, 14).

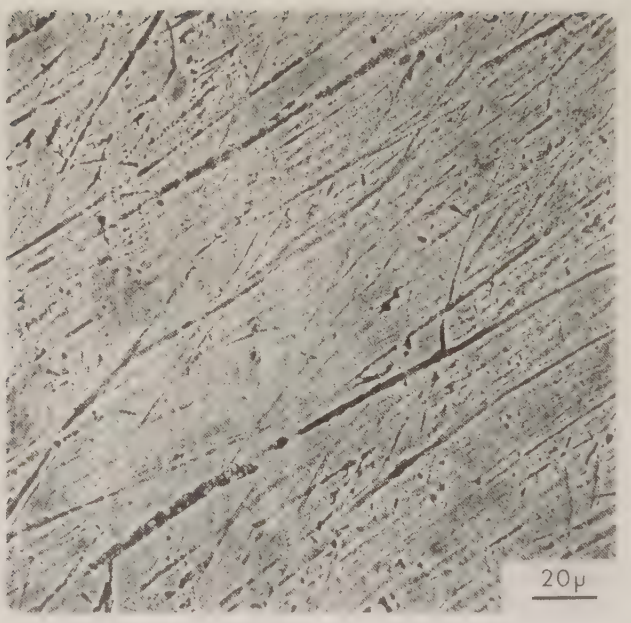


Abb.6

Palatinale Fläche eines oberen Eckzahnes (53) ungeschliffen, 1/2 min. mit 37 % iger Phosphorsäure geätzt. Kein retentives Ätzmuster.

Vergrößerung 550 fach. (verkleinert auf 2/3)

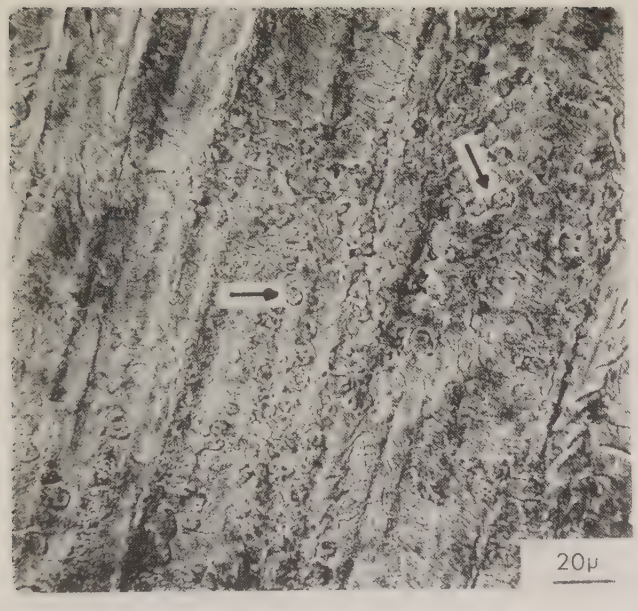


Abb.7

Labiale Fläche eines oberen Eckzahnes (53) geschliffen, 1/2 min. mit 37 % iger Phosphorsäure geätzt.
Es sind schon geringe Spuren der Schmelzprismenenden zu erkennen. (siehe Pfeile).

Vergrößerung 550 fach. (verkleinert auf 2/3)

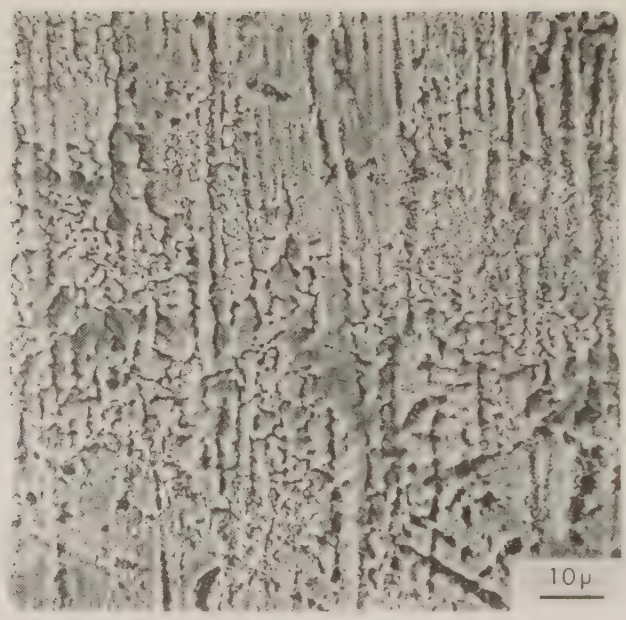


Abb.8

Linguale Fläche eines
oberen Molaren (65)
ungeschliffen,
1 min., 37 % ige Phos-
phorsäure.
Unregelmäßige Ätzstruktur.

Vergrößerung 1100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

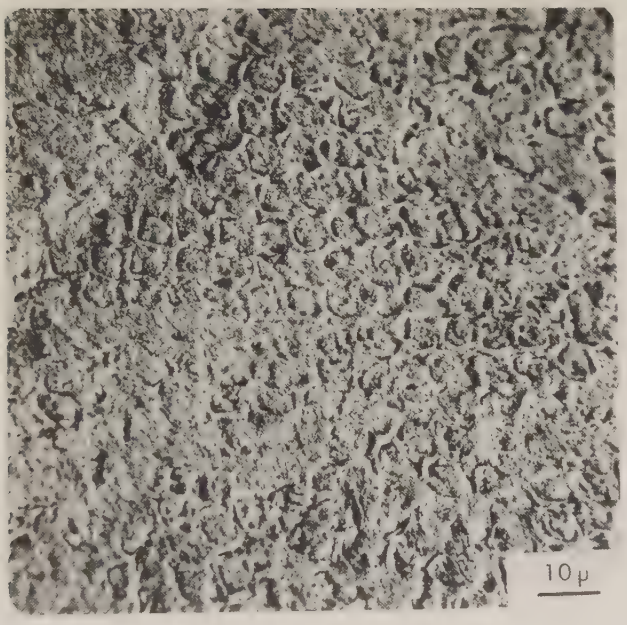


Abb. 9

Incisale Oberfläche eines oberen Eckzahnes (53) ungeschliffen, 1 min., 37 % ige Phosphorsäure. Erste Anzeichen eines regelmäßigen Ätzmusters sind zu erkennen, dies wird durch die Abrasion der incisalen Kante mit Freilegung des darunter liegenden prismatischen Schmelzes erklärt.

Vergrößerung 1100 fach. (verkleinert auf 2/3)

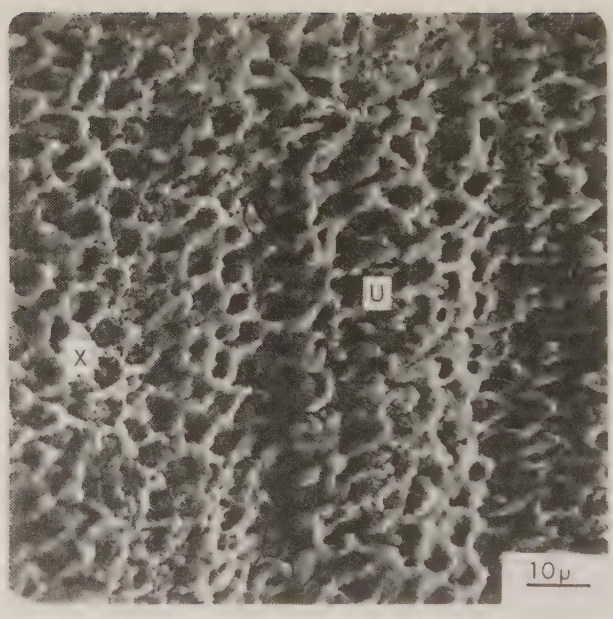


Abb.10

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (65)
geschliffen,
1 mir., 37 % iger Phosphorsäure geätzt.
Regelmäßige Ätzstruktur vom Prismentyp (x) und Hufeisentyp (u).
Weiterhin sind die teils längs, teils quer getroffenen Schmelzprismen deutlich zu sehen.

Vergrößerung 1100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

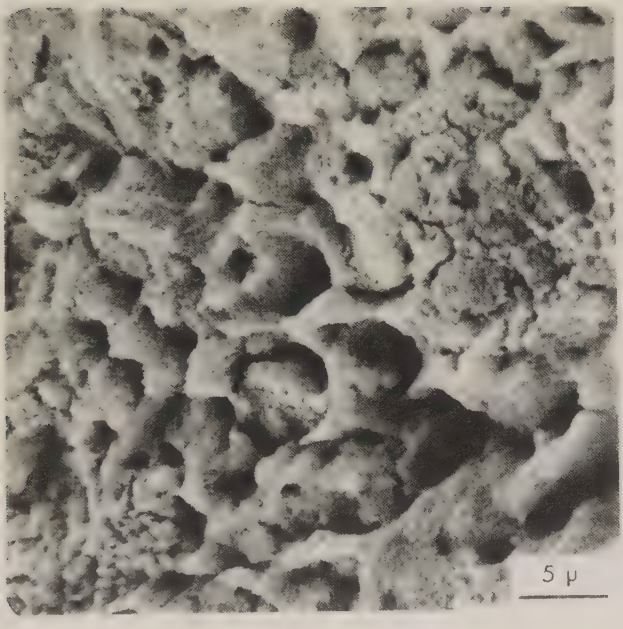


Abb.11

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (54)
geschliffen,
2 min. 37 % iger Phosphorsäure.
Die Entkalkung betrifft vornämlich das Zentrum, die Prismenperipherie bleibt als erhabener Wall stehen.

Vergrößerung 3100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

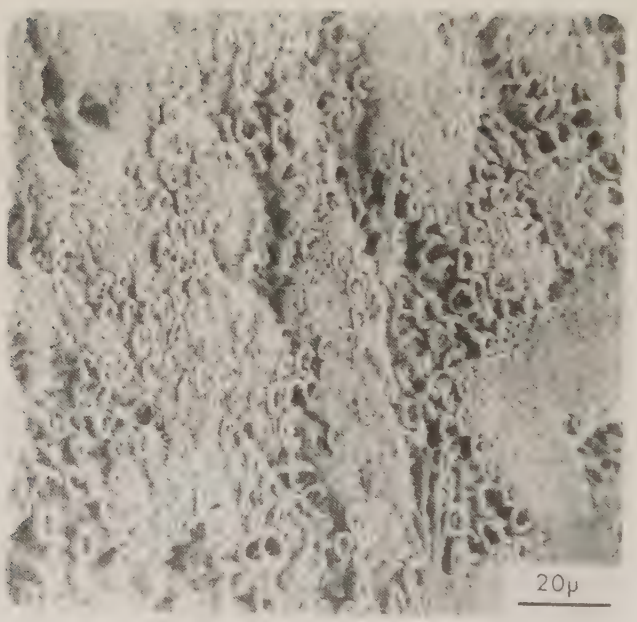


Abb.12

Okklusale Fläche eines unteren Molaren (85) ungeschliffen, 4 min. 37 % ige Phosphorsäure. Einzelne Prismenenden erkennbar, bei denen das Zentrum herausgelöst ist.
Das Auftreten von Prismenenden an der ungeschliffenen, okkl. Fläche wird durch Abrasion erklärt.

Vergrößerung 830 fach.
(verkleinert auf 2/3)

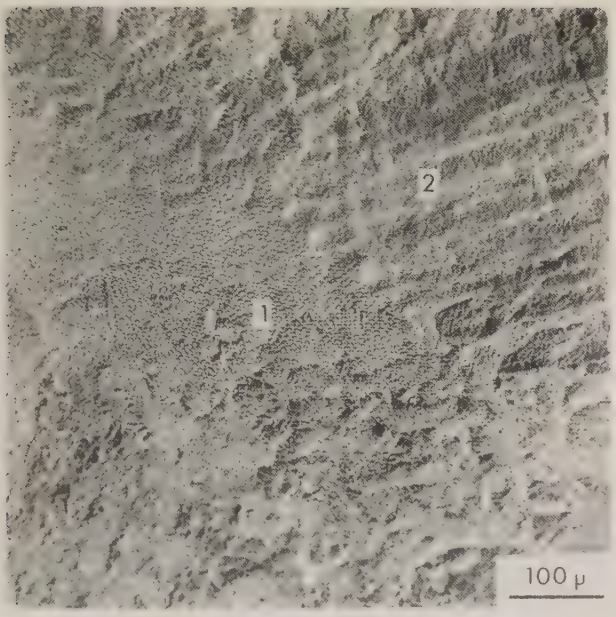


Abb.13

Okklusale Fläche eines unteren Molaren (85) geschliffen, 4 min. 37 % ige Phosphorsäure. Zu sehen ist der Üb-rgang von der ungeschliffenen Oberfläche zur Schliffstelle. Dabei fällt der abrupte Übergang vom Ätzmuster des Schlüssellochtyps (1) zum unregelmäßigen Ätzmuster (2) auf. Er verläuft genau an der Schliffgrenze.

Vergrößerung 165 fach. (verkleinert auf 2/3)

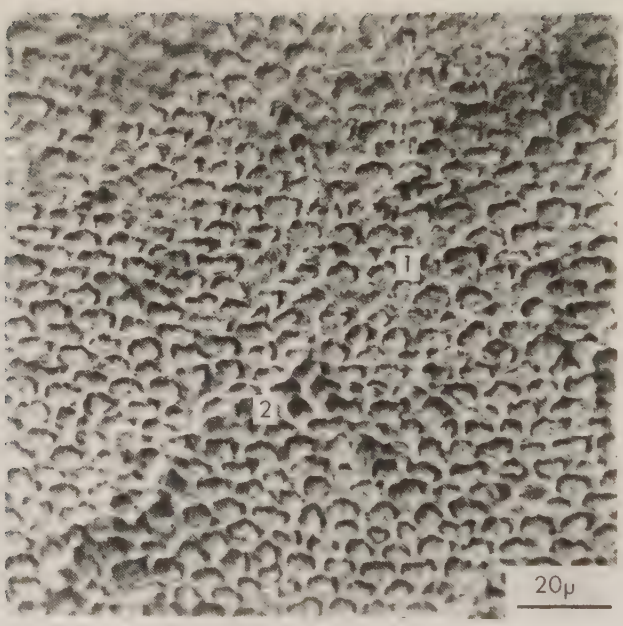


Abb.14

Okklusale Fläche eines unteren Molaren (85) geschliffen, 4 min. 37 % ige Phosphorsäure. Das Bild zeigt sehr schön das Ätzmuster des Schlüssellochtyps. An manchen Stellen sind die Prismenperipherien (1), an anderen dagegen die Prismenzentren (2) bevorzugt von der Säure angegriffen worden.

Vergrößerung 830 fach. (verkleinert auf 2/3)

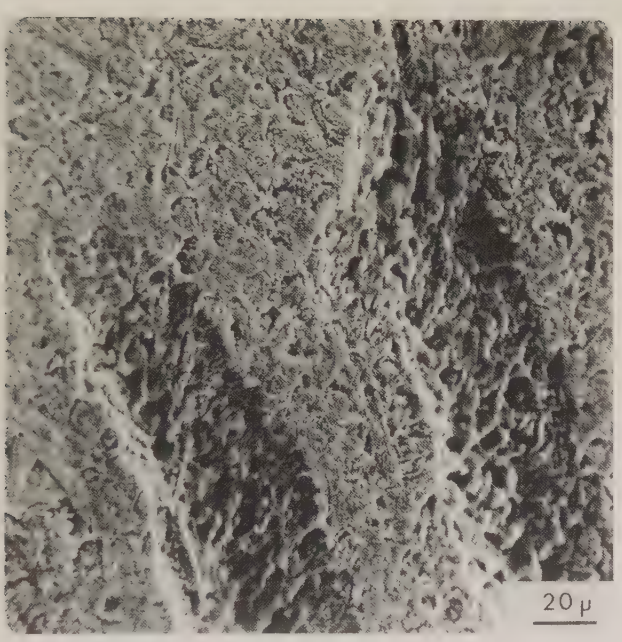


Abb.15

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (54) geschliffen.
6 min. 37 % ige Phosphorsäure.
Zu sehen sind zwei auslaufende Schleifspuren. Während am Rand der Schliffstelle, also im ungeschliffenen Schmelz, bei dieser Ätzdauer Prismenstrukturen schwach zutage treten, ist in der Tiefe der Schliffstelle kein regelmäßiges Ätzmuster mehr vorhanden.
Dies wird auf die zu lange Ätzzeit zurückgeführt.

Vergrößerung 1100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

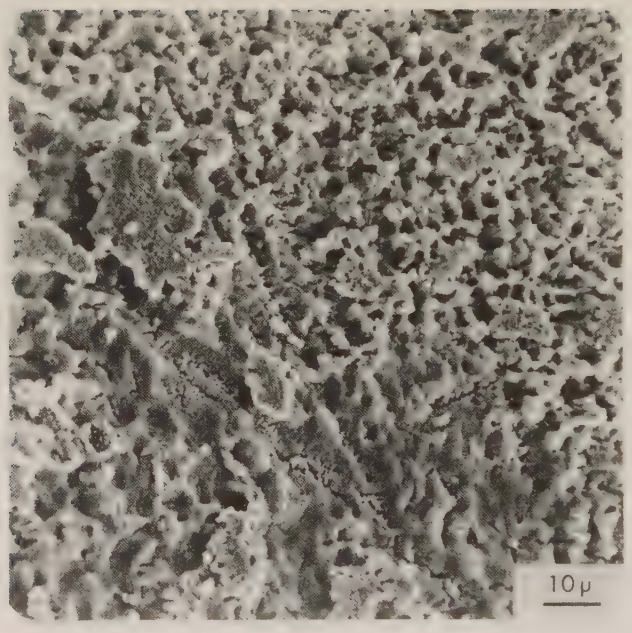


Abb.16

Palatinale Fläche eines oberen Incisivus (52) ungeschliffen, 6 min. 37 % ige Phosphorsäure, unregelmäßige Ätzstruktur, Platten und Schollen. Im oberen Bilddrittel läßt sich unter den aufgelagerten Schollen schon ein regelmäßiges Ätzmuster vom Prismentyp erkennen.

Vergrößerung 1000 fach. (verkleinert auf 2/3)

5.5. Phosphorsäure 50 %

Das für 37 % ige Phosphorsäure Gesagte gilt im Prinzip auch bei 50 % iger Phosphorsäure, jedoch schien die konzentriertere Säure keine so guten, d.h. tiefen Ätzmuster erzielen zu können.

Abb.17

Bukkale Fläche eines oberen Eckzahnes (63) ungeschliffen. 1 min. 50 % ige Phosphorsäure, keine regelmäßige Ätzstruktur.

Vergrößerung 550 fach. (verkleinert auf 2/3)

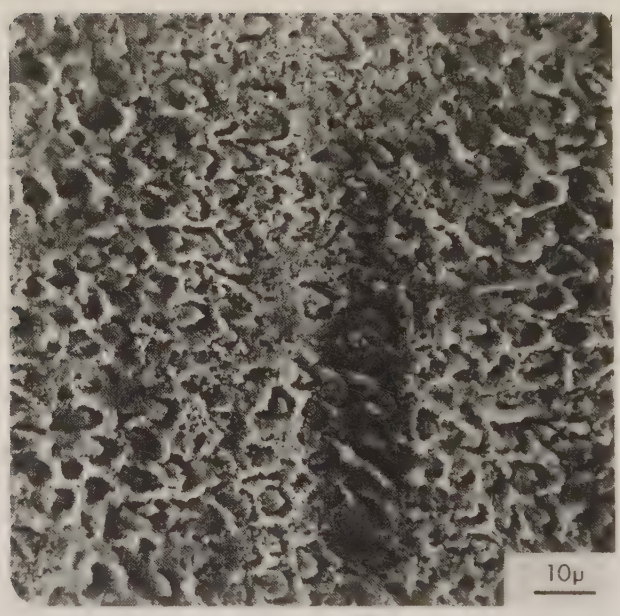


Abb.18

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (65) geschliffen.
1 min. 50 % ige Phosphorsäure.
Regelmäßige Ätzstruktur vom Hufeisentyp.
Die Entkalkung betrifft vor allem die Peripherie.

Vergrößerung 550 fach.
(verkleinert auf 2/3)

5.6. Vergleich zwischen 37 % und 50 % iger Phosphorsäure

Im Vergleich der beiden Säurekonzentrationen muß der schwächeren Konzentration die größere Fähigkeit zugestanden werden, ein gleichmäßiges Ätzmuster zu erzeugen. Bei sonst gleichen Bedingungen (gleiche Zahnfläche, gleiche Schmelzvorbehandlung, gleiche Ätzzeiten) schneidet die 50 % ige Phosphorsäure durchweg schlechter ab. Bei ihr treten häufiger Unregelmäßigkeiten auf (Abb. 23, 24) und selbst bei gleichmäßigen Ätzmustern ist die von ihr hervorgerufene Struktur nicht so ausgeprägt wie bei der 37 % igen Phosphorsäure (Abb. 19 und 20).

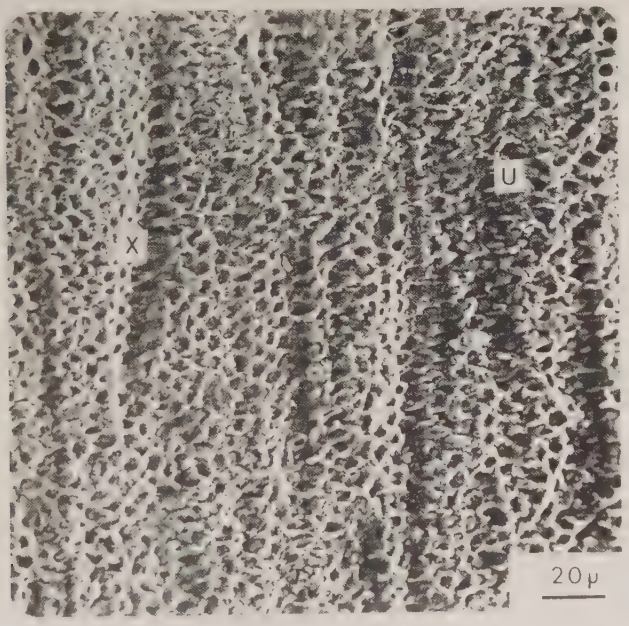


Abb.19

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (65) geschliffen, 1 min. 37 % ige Phosphorsäure. Regelmäßige Ätzstruktur vom Hufeisen- (u) bzw. Prismentyp (x). Die etwas dunkleren Längszüge rühren von der Bearbeitung mit dem diamantierten Instrument her.

Vergrößerung 550 fach.
(verkleinert auf 2/3)

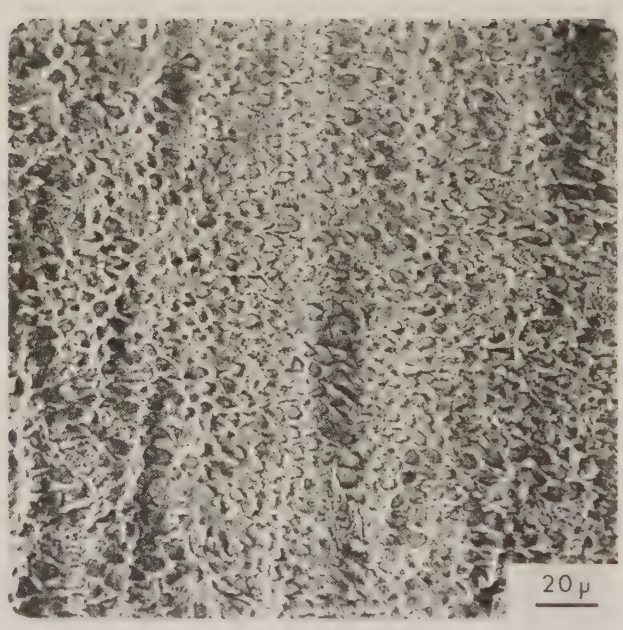


Abb.20

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (65) geschliffen, 1 min. 50 % ige Phosphorsäure. Ätzstruktur vom Hufeisentyp. In einigen Bezirken sind Unregelmäßigkeiten zu sehen.

Vergrößerung 550 fach. (verkleinert auf 2/3)

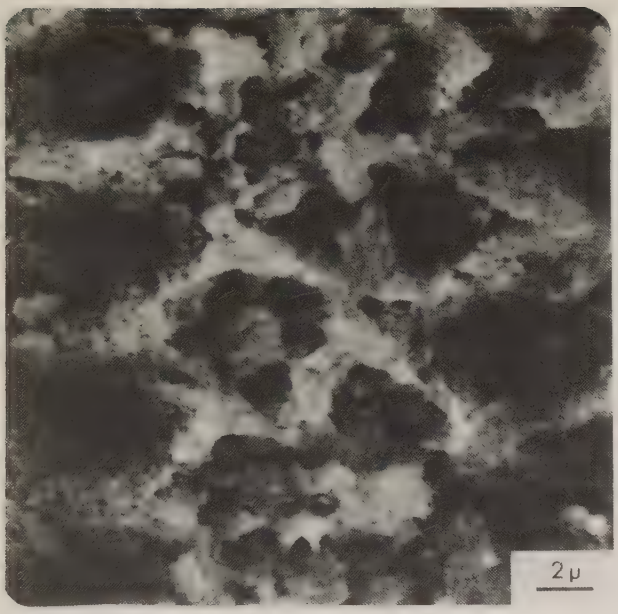


Abb.21

Ausschnittvergrößerung aus Abb.19. Sehr gut zu sehen ist ein einzelnes Schmelzprisma, welches das Bild eines Turmes mit Wall und Graben bietet.

Vergrößerung 4500 fach.
(verkleinert auf 2/3)

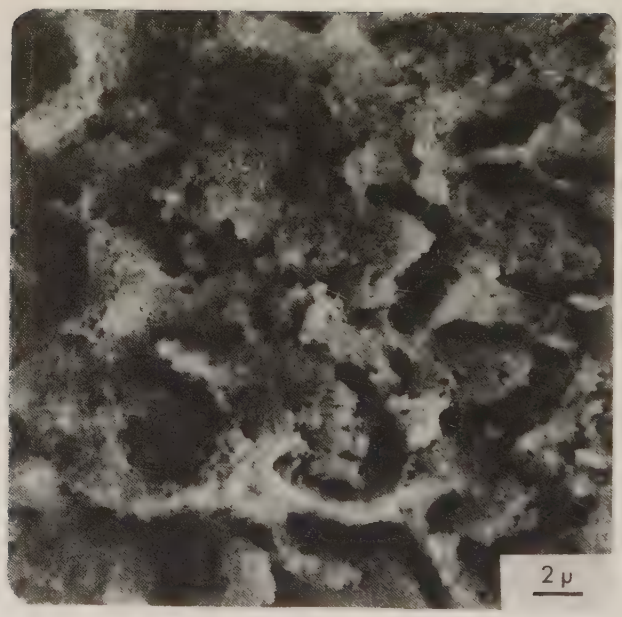


Abb.22

Ausschnittvergrößerung aus Abb.20
Gruppe von 5 Schmelzprismen.
Ätzmuster des Hufeisentyps.

Vergrößerung 4500 fach.
(verkleinert auf 2/3)

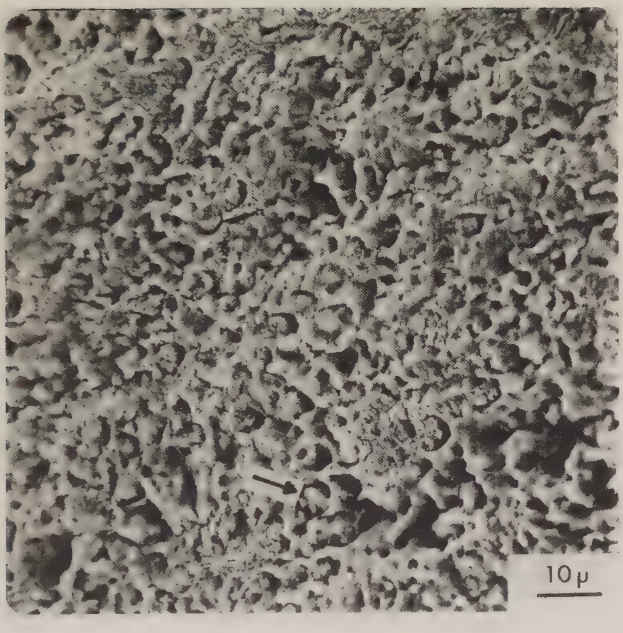


Abb.23

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (54) geschliffen. 3 min. 37 % ige Phosphorsäure. Bedingt regelmäßige Ätzstruktur. Erkennbare Prismenenden (Turm mit Wall und Graben, siehe Pfeil).

Vergrößerung 1100 fach. (verkleinert auf 2/3)

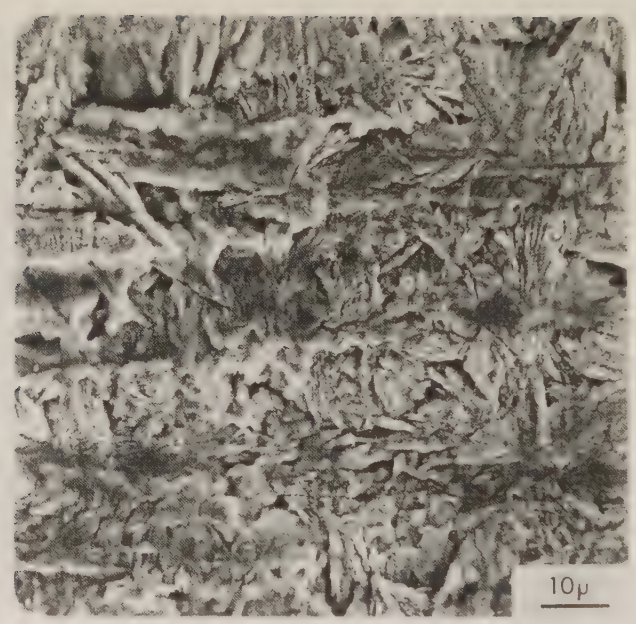


Abb.24

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (54) geschliffen 3 min. 50 % ige Phosphorsäure. Bei sonst gleichen Bedingungen wie links, ergibt sich hier eine unregelmäßige Ätzstruktur.

Vergrößerung 1100 fach. (verkleinert auf 2/3)

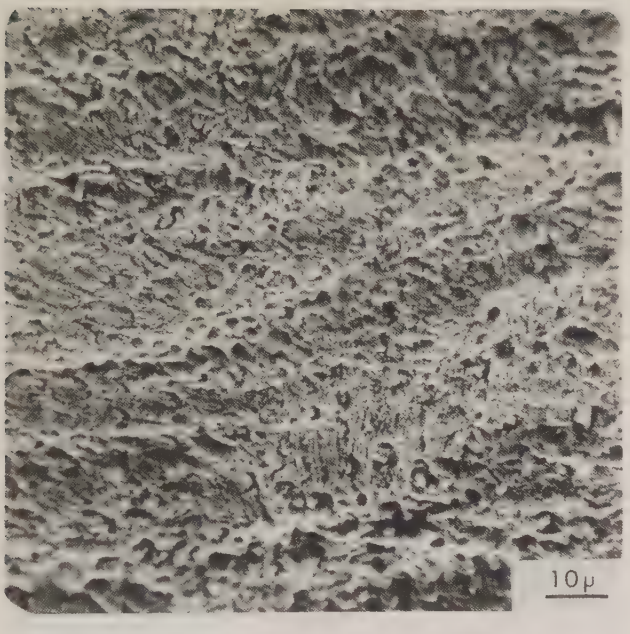


Abb.25

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (54) geschliffen 6 min. 37 % ige Phosphorsäure. Ziemlich stark angegriffene, prismatische Oberfläche.

Vergrößerung 1100 fach. (verkleinert auf 2/3)

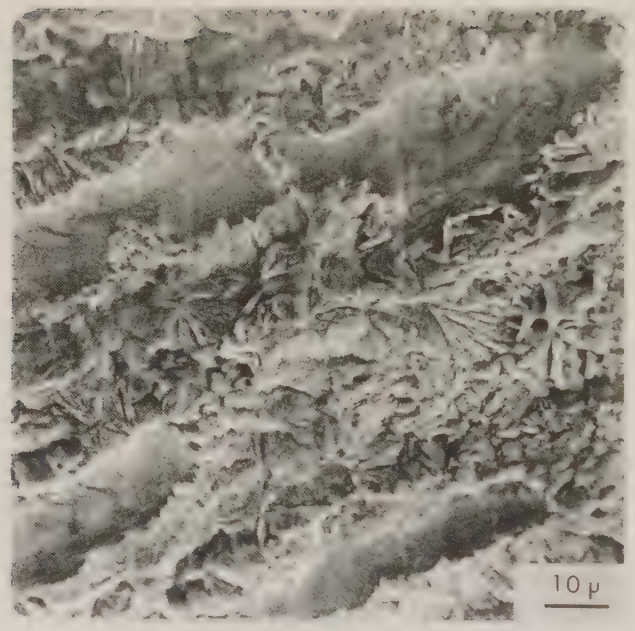


Abb.26

Bukkale Fläche eines oberen Molaren (54) geschliffen 6 min. 50 % ige Phosphorsäure. Sehr stark angegriffene Oberfläche, die nur noch Unregelmäßigkeiten aufweist.

Vergrößerung 1100 fach. (verkleinert auf 2/3)

5.7. Ätzstrukturen von permanentem Schmelz

Der bleibende Schmelz zeigte bei der Anwendung von 37 % Phosphorsäure während 1 - 2 min. die schon in einer Reihe von Veröffentlichungen (20, 28, 44, 78) erwähnten Formen der retentiven Ätzstrukturen.
Es konnte ebenfalls der Angriff der Säure auf die Prismenzentren (Abb.28), von dem auf die Prismenperipherien (Abb.27) unterschieden werden. Hauptsächlich trat das Prismenmuster des Schlüssellochtyps zutage.
Bei einer Ätzzeit von 2 min. waren allerdings auch beim permanenten Schmelz Unregelmäßigkeiten in der Ätzstruktur zu beobachten (Abb.29).

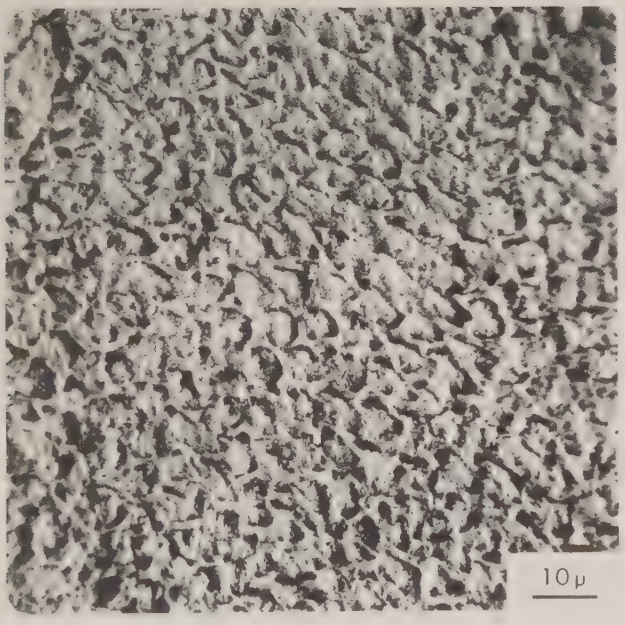


Abb.27

Incisale Fläche eines bleibenden,oberen Frontzahnes (21).
Geschliffen, 1 min. 37 % ige Phosphorsäure. Regelmäßige Ätzstruktur des Schlüssellochtyps.Bevorzugter Angriff erfolgte auf die Schmelzprismenperipherie.

Vergrößerung 1100 fach.(verkleinert auf 2/3)

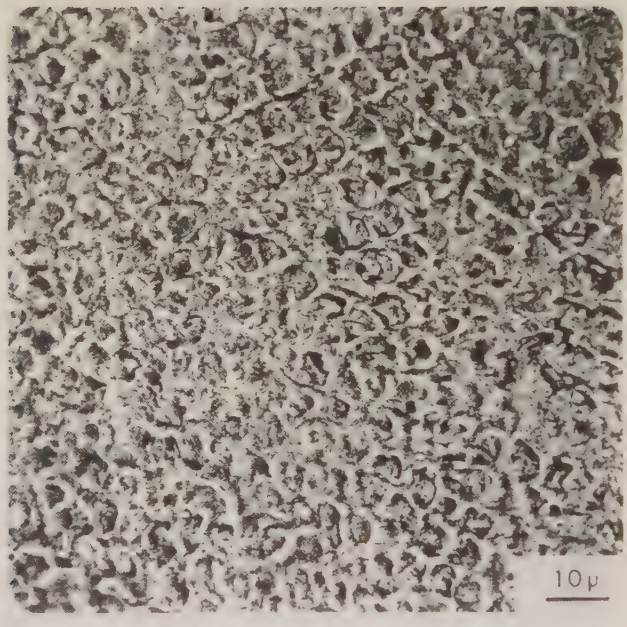


Abb.28

Buccale Fläche eines bleibenden, oberen Frontzahnes (21), geschliffen, 1 min. 37 % ige Phosphorsäure. Regelmäßige Ätzstruktur des Schlüssellochtyps. Bevorzugt wurden die Schmelzprismenzentren angegriffen.

Vergrößerung 1100 fach. (verkleinert auf 2/3)

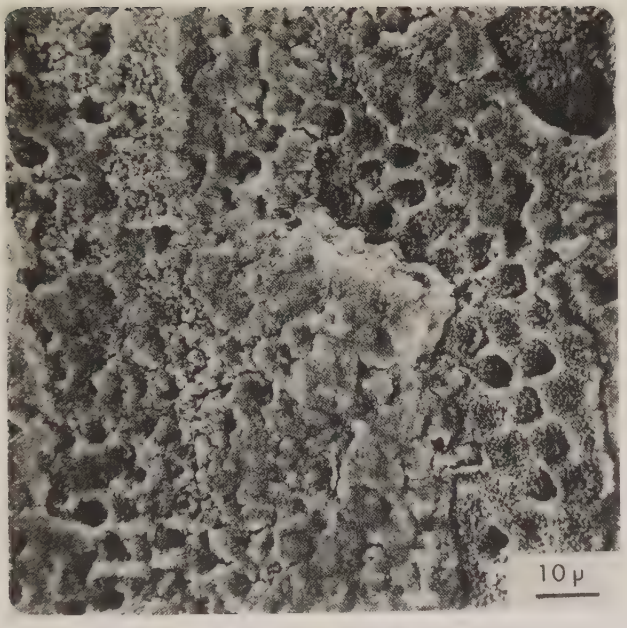


Abb.29

Bukkale Fläche eines bleibenden, oberen Frontzahnes (21). Geschliffen, 2 min. 37 % ige Phosphorsäure. An einigen Stellen bevorzugter Angriff auf die Schmelzprismenzentren. Im Großen und Ganzen zeigt sich aber auch hier das nicht retentive Muster der unregelmäßigen Ätzstruktur.

Vergrößerung 1100 fach.
(verkleinert auf 2/3)

6. DISKUSSION

Über eine Defekt- und Füllungstherapie bei Milchzähnen mit Hilfe der Säure-Ätztechnik finden sich bis jetzt in der Literatur praktisch kaum Angaben, sieht man von folgenden ab:
LUTZ äußert sich 1974, daß bei Milchzähnen mittels der Säure-Ätzung kein den permanenten Zähnen typisches Ätzmuster zu erreichen sei. MAYER berichtet 1978 über klinische Erfolge mittels der Schmelz-Ätzung auch im Milchgebiß und erste rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß unter bestimmten Voraussetzungen auch bei Milchzähnen ein den bleibenden Zähnen ähnliches retentives Ätzmuster zu erzielen ist.
Die Ursache für derartige Beobachtungen findet man in den Untersuchungen von RIPA, GWINETT und BUONOCORE 1966 über den Aufbau des Milchzahnschmelzes (16, 65). Sie berichten von einem sogenannten "prismenlosen" Schmelz der Milchzähne und sehen weiterhin eine Artverwandtschaft zu den bleibenden Zähnen. Die Stärke dieser Oberflächenschicht wird mit 30 um angegeben.
Angesichts dieser Gegebenheiten führten wir zahlreiche Untersuchungen am Milchzahnschmelz durch; nicht zuletzt, um die klinisch-positiven Beobachtungen begründen zu können. Hierzu verwandten wir unterschiedliche Säuren und Säurekonzentrationen, unterschiedliche Ätzzeiten und schließlich wiederholten wir diese Versuche nach vorherigem mechanischen Abtragen oberflächlicher Schmelzschichten von unterschiedlicher Stärke.
Vergleicht man nun die hieraus resultierenden Ergebnisse mit Untersuchungen über die bleibenden Zähne, so läßt sich zusammenfassend Folgendes feststellen:

1. Die Arbeiten GWINETTs (1971) und SILVERSTONEs (1974) zeigen, daß die Ätzstruktur sowohl eine Funktion der Lage der Prismen, als auch abhängig von der Art und der Konzentration der angewandten Säure ist.

Das Gleiche gilt unseren Untersuchungen zufolge auch bei Milchzähnen. Bei ihnen läßt sich ein retentives Ätzmuster allerdings erst im prismatischen Schmelz, das heißt in einer Tiefe von 30 µm erzielen, also nach vorherigem mechanischen Abtragen der darüberliegenden "prismenlosen" Schmelzschicht.

2. In Anlehnung an die Ätzversuche CASTAGNOLAs (1975) an bleibenden Zähnen hinsichtlich der Ausprägung unterschiedlicher Ätzstrukturen bei Anwendung der handelsüblichsten Säureagentien, war das Ziel unserer Untersuchung keine Prüfung aller von der Industrie angebotenen Säurelösungen, sondern vielmehr die Austestung der Möglichkeiten retentive Ätzmuster auch bei Milchzähnen mit Hilfe der gebräuchlichsten Ätzagentien zu erzielen.
   Demzufolge wurden 37 %ige Phosphorsäure, 50 %ige Phosphorsäure mit 7 % Zinkoxidzusatz und 50 %ige Zitronensäure benutzt.
   Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stimmen mit den von CASTAGNOLA getroffenen Feststellungen darin überein, daß sich Zitronensäure für die Säure-Ätz-Technik nicht eignet. Die von CASTAGNOLA bei permanenten Zähnen mittels Phosphorsäure erzeugten Ätzmuster ließen sich auch bei Milchzähnen herstellen. Ebenfalls in Übereinstimmung mit CASTAGNOLA (1975), aber auch mit TRIADAN (1975), EIDELMAN (1976) und anderen zeigte sich, daß die Art des Ätzmusters, ob nun Hufeisen-, Schlüsselloch- oder Prismentyp, sowie die Art des Säureangriffs, sei es nun auf das Prismenzentrum oder auf die Prismenperipherie, unabhängig von der Säurekonzentration ist.

3. In unseren Untersuchungen schnitt die schwächere Phosphorsäurenkonzentration besser ab. Mit 37 %iger Phosphorsäure ließen sich eindeutig gleichmäßigere und ausgeprägtere retentive Ätzmuster erzeilen. Dies deckt sich weitgehend mit den Ergebnissen von SILVERSTONE,

der 1974 die Abhängigkeit von Säurekonzentration und Ätzdauer im Hinblick auf den Substanzverlust an der Schmelzoberfläche untersuchte und dabei feststellte, daß Phosphorsäure in einer Konzentration von 30 % die beste Wirkung auf den Schmelz von bleibenden Zähnen zeigt.
Die Ansicht anderer Autoren, z.B. BUONOCORE (7), GWINETT und MATSUI (21), RETIEF (61),daß nämlich 50 %ige Phosphorsäure bzw. 50 %ige Phosphorsäure mit 7 % Zinkoxid-Zusatz für die Schmelzätzung geeigneter sei, trifft bei Milchzähnen der vorliegenden Untersuchung nach nicht zu.

Die Ätztiefe nimmt nach SILVERSTONEs Angaben bei 30%iger Phosphorsäure mit steigender Ätzdauer bis auf 32 um bei 5 Minuten zu. Hier scheint ein gewisser Unterschied zwischen Milchzähnen und bleibenden Zähnen zu bestehen; denn auch mit einer bis auf 6 Minuten verlängerten Ätzzeit konnten wir keine großflächigen retentiven Ätzmuster an der unbeschliffenen Milchzahnoberfläche erzielen. Der entscheidende Faktor für die Ausprägung eines retentiven Musters ist bei Milchzähnen somit weder die Konzentration der Phosphorsäure noch die Ätzdauer, sondern die mechanische Entfernung der "prismenlosen" Oberflächenschicht des Milchzahnschmelzes. Geschieht dies, so lassen sich auch bei Milchzähnen die bekannten retentiven Muster des Hufeisen-, Schlüsselloch- oder Prismentyps erzeugen.
Abschließend läßt sich somit feststellen, daß die von der Säure-Ätz-Technik bei permanenten Zähnen bereits bekannten Adhäsionspräparation unabdingbare Voraussetzung zur Erzielung eines retentiven Ätzmusters bei Milchzähnen ist.

7. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit gelangten insgesamt 88 Flächen von Milchzähnen und zwar sowohl von Molaren, Eck- als auch Schneidezähnen zur rasterelektronenmikroskopischen Auswertung.

Zur Säureätzung wurden folgende Ätzagentien verwandt:

1. Zitronensäure 50 % (Cavity Cleanser 9060, Lee Pharmaceuticals)
2. Phosphorsäure 50 % gepuffert mit 7 % Zinkoxid (Säurelösung des Nuva Seal/Fil Systems)
3. Phosphorsäure 37 % (Säurelösung von Enamel Bond, Concise und Isopast)

Als Ätzzeiten wählten wir 1/2 bis 6 Minuten.

Es zeigte sich, daß die Zitronensäure für die Säure-Ätz-Technik bei Milchzähnen ungeeignet ist. Weiter wurde festgestellt, daß eine Art "prismenlose Oberfläche" des Milchzahnschmelzes grundsätzlich einem retentiven Ätzmuster durch die angewandten Säuren entgegensteht.

Nach Entfernen dieser ungefähr 30 µm dicken Schicht ließen sich dann allerdings retentive Muster erzeugen. Hierbei zeigte sich, daß bei Verwendung der beiden Phosphorsäuren die Art des Ätzmusters, sowie die Art des Säureangriffs auf das Prismenzentrum oder auf die Prismenperipherie unabhängig von der Säurekonzentration ist. Allerdings ließen sich mit der 37 %igen Phosphorsäure deutlichere und gleichmäßigere Ätzmuster erzeugen.

Hinsichtlich unterschiedlicher Ätzzeiten konnten wir bei Milchzähnen keinen entscheidenden Einfluß auf die Ausprägung solcher retentiver Ätzmuster feststellen.

Jedoch sollte auch bei Milchzähnen die Ätzdauer nicht unter eine Minute verkürzt werden.

Literaturverzeichnis

1. ARANA,E.M.: Clinical observation of enamel after acid etch procedure. J.Amer.dent.Ass 89, 1102 (1974)

2. BOHREN,H.: Über die Haftung einiger neuer Füllungsmaterialien. Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 83, 1354 (1973)

3. BUCHER,O.: Cytologie,Histologie und mikroskop.Anatomie des Menschen. Bern:Med.Verlag Hans Huber 355 - 363 (1970)

4. BUONOCORE,M.G.: A simple method of increasing the adhesive of filling materials to enamel surfaces. J.Dent.Res. 34, 849 - 853 (1955)

5. BUONOCORE,M.G.: Adhesive sealing of pits and fissures for caries prevention with use of ultraviolet light. I A D A 80, 324 - 328 (1970)

6. BUONOCORE,M.G.: Caries prevention in pits and fissures sealed with an adhesive resin polymerized by ultraviolet light: a two-year study of a single adhesive application. I A D A 82, 1090 - 1093 (1971)

7. BUONOCORE,M.G./ MATSUI,A./ GWINETT,A.J.: Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding. Arch.oral Biol. 13, 61 - 70 (1968)

8. CASTAGNOLA,L./ WIRZ,J./ GARBEROGLIO,R.: Die Schmelzätzung für die konservierende Zahnbehandlung. Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 85, 975 - 1013 (1975)

9. CASTAGNOLA,L./ WIRZ,J./ GARBEROGLIO,R.: Die Schmelzätzung in der konservierenden Zahnbehandlung. Die Quintessenz 1, 29 - 36 und 2, 31 - 34 (1977)

10. CONNIFF,JOHN,H./ HAMBY,G.RAY: Preparation of primary tooth enamel for acid conditioning. J Dent Child 43 (3), 177 - 179 (1976)

11. DRUM,W.: Die Schliffpunktfüllung, ein Vorschlag zur Frühbehandlung der Fissurenkaries. Dtsch.zahnärztl.Z.9, 859-867 (1954)

12. EIDELMAN,E./ FUKS,A./ SHAPIRA,I./ CHOSACK,A.: The structure of the enamel in primary teeth,Practical applications in restorative techniques. J Dent Ch./LD 43 (3), 172 - 176 (1976)

13. FROMME,H.G./ RIEDEL,H./VAHL,J.: Beobachtungen zum Gefügeaufbau der Zahnhartsubstanz mit Hilfe des Rasterelektronenauflichtmikroskopes. Dtsch.zahnärztl.Z.22, 395-400 (1967)

14. GLAS,J.E.: Studies on the ultrastructure of dental enamel II Arch oral Biol 7, 91-104 (1962b)

15. GOLA,G./JORDAN,R.E.: Pulpal effects of concentrated phosphoric acid Bull Tokyo Coll 14, 105 (1973)

16. GWINETT,A.J.: The ultrastructure of the "prismless" enamel of deciduous teeth Arch oral Biol 11, 1109 - 1116 (1966)

17. GWINETT,A.J.: The ultrastructure of the "prismless" enamel of permanent human teeth. Arch oral Biol 12, 381 - 387 (1967)

18. GWINETT,A.J.: Histologie changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents. Arch oral Biol 16, 731 (1971)

19. GWINETT,A.J.: Die Verbindung von Versiegelungsmaterialien mit dem Zahnschmelz Sonderdruck aus JOSPD 21 - 29 (1973)

20. GWINETT,A.J./ BUONOCORE,M.G.: A scanning electron microscopy study of pit and fissure surfaces conditioned for adhesive sealings Arch oral Biol 17, 415-423 (1972)

21. GWINETT,A.J./ MATSUI,A.: A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesiv. Arch oral Biol 12, 1615 (1967)

22. HELMCKE,J.G.: Atlas des menschl.Zahnes Berlin: Transmare-Photo GmbH (1953)

23. HELMCKE,J.G.: Elektronenmikroskopische Strukturuntersuchungen an gesunden und kranken Zähnen. Dtsch.zahnärztl.Z.10,II, 1461-1478 (1955)

24. HELMCKE,J.G./ SCHULZ,L./ SCOTT,D.B.: Querstreifung der menschl. Schmelzprismen Dtsch.zahnärztl.Z.18, 626 (1963)

25. HINDING,J.H./ SVEEN,O.B.: A scanning elektron mikroscope study of the effect of acid conditioning on occlusal enamel of human permanent and deciduous teeth.

26. HÖHLING,H.J.: Die Bauelemente von Zahnschmelz und Dentin aus morphologischer, chemischer und struktureller Sicht. München:Carl Hanser Verlag 1-77 (1966)

27. HÖHLING,H.J./ ERWIG,R.: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen am kompakten, nicht vorbehandelten Zahnschmelz. Dtsch.zahnärztl.Z.17, 1193-1201 (1960)

28. HÖHLING,H.J./ VAHL,J./ WANNENMACHER,E.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen strukturempfindlicher Mikrobereiche der "Zahnschmelzprismen" bei Angriff saurer Agenzien. Dt.Zahnärzteblatt Bd.18, 592 (1964)

29. HOFFMAN,S.: Variation in surface resistance to enamel etching I Dent Res 51, 795 (1972)

30. HOFMANN,S./ MC ELWAN,W.S./ DREW,G.M.: Scanning electron microscope studies of EDTA - treated enamel. I Dent Res 48, 1234-1242 (1969)

31. HOTZ,P.: Die Adhäsiv-Versiegelung Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 82, 1232 (1972)

32. JOHNSON,N.W./ POOLE,D.F.G./ TYLOR,J.E.: Factors affecting the differential dissolution electron microscope study. Arch oral Biol 16, 385 (1971)

33. JÜNKE,J.: Restauration von Milchzähnen Dtsch.zahnärztl.Z.31, 35 - 46 (1976)

34. KOPEL,H.H.: Prestreating enamel to increase adhesion of plastic restorative materials - the etch technique. J.S.Calif.Dent Ass.39, 752 (1971)

35. LAUER,G.: Oberflächenhistolog.Untersuchungen über Perikymation MED.Diss.Tüb. (1973)

36. LEE,H.L./ ORLOWSKI,J.A./ KOBASHIGAWA,A.: Handbook of dental composite restoratives Lee Pharmaceuticals, Sout El Mohte, Los Angeles (1973)

37. LEHNER,H./H.PLENK: Die Zähne: in W.v.Möllendorffs Handbuch der mikr.Anatomie des Menschen Berlin:J.Springer Verlag, Bd.5, Teil 3, S.449-708 (1936)

38. LENZ,H.: Elektronenmikr.Untersuchungen bei beginnender Schmelzkaries Zahnärztl.Rundschau 65,285 (1956)

39. LENZ,H./MÜHLEMANN: In vivo and in vitro effects of saliva on etched or mechanically marked enamel after certain periods of time Helv Dont Acta 7, 30-39 (1963)

40. LINDEBORG,P.: Das Rasterelektronenmikroskop - ein Gerät zur Untersuchung von Hartgewebsoberflächen. Schwedisches Dental-Journal 64, 265 - 269 Ref.Quintess.zahnärztl.Lit.25, Ref.5083, 1-5 (1974)

41. LOSEE,F.L./ HESS,W.C.: The chemical nature of the proteins from human enamel. J.Dent.Res.28, 512-517 (1949)

42. LUTZ,F.: Die Adhäsiv - Versiegelung Schweiz.Monatsschr.Zahnheilkunde 84, 1082 (1974)

43. LUTZ,F.: Die adhäsive Restoration Zahnärztl.Praxis 26, 51 (1975)

44. LUTZ,F.: Das Caulk-Nuva System, ein Durchbruch? Schweiz.Monatsschr.Zahnheilkunde 83, 1151 (1973)

45. LUTZ,F./ BURKARDT,R.: Das Concise - Enamel - Bond System, eine Alternative? Schweiz.Monatsschr.Zahnheilkunde 84, 1113 (1974)

46. MARSHALL,G.W./ OLSON,L.M./ LEE,C.V.: SEM investigation of the variability of enamel surfaces after simulated clinical acid etching for pit and fissure sealants I Dent Res 54,6, 1222 - 1231 (1975)

47. MARTINEZ,C.R.: The effect of three variables on the seal of three commercial pit and fissure sealants MS thesis,Northwestern University (1973)

48. MAYER,R.: Kariestherapie mit plast.Füllungsmaterialien im Milchgebiß - kritisch gesehen
Dtsch.zahnärztl.Z.31, 488 - 492 (1976)

49. MAYER,R.: Füllungstherapie im Milchgebiß
Zahnärzteblatt Baden-Württemberg 5, 109 - 112 (1978)

50. MEYER,W.: Normale Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen
München: Carl Hanser Verlag 3-32, 167 - 170 (1951)

51. MÜHLEMANN/LENZ/ROSSINSKY: Elektron microscopy appearance of rehardened enamel
Helv.Odont.Acta 8, 108-111 (1964)

52. MULHOLLAND,R.D./DE SHAZER,D.O.: The effect of acidic pretreatment solutions on the direct bonding of orthodontic brackets to enamel
Angle orthodont 38, 236 - 243 (1968)

53. MYERS,F.L./ROSSI,F./CARTZ,L.: Adhesive taglike extensions into acid-etches tooth enamel
I Dent Res.53, 435 (1974)

54. NOLDEN,R.: Die Adhäsiv - Technik und ihre Bedeutung für die restaurative Zahnheilkunde
Zahnärtzl.Mittl.21, 1199 - 1203 (1978)

55. NELSON,S.R./TILL,M.J./HINDING,J.H.: Comparison of materials and methods in acid etch restorative procedures
J.Amer.dent.Ass. 89, 1123 (1974)

56. OHNSORGE,J./HOLM,R.: Rasterelektronenmikroskopie
Stuttgart:Thieme Verlag (1973)

57. OHSAWA,I.: Studies on the solubility and adhesion of the enamel in pretreatment for caries preventive sealing
Bull Tokyo Dental Coll 13, 65 - 82 (1972)

58. POOLE,D.F.G./ JOHNSON,N.W.: The effects of different demineralizing agents on human enamel surfaces studies by scanning electron microscopy
Arch.oral Biol.12, 1621 (1967)

59. RAU,G.: Die Adhäsive Restauration mit dem Nuva-System
Med.Diss.Tüb. (1975)

60. REHBERG,H.J.: Ein Überblick über die werkstoffkundlichen Grundlagen der Composite Füllungsmaterialien
Zahnärztl.Mitt.21, 1191-1198 (1978)

61. RETIEF,D.H.: Effect of conditioning the enamel surface with phosphoric acid.
I.Dent.Res. 52, 333 (1973)

62. RETIEF,P.: Entwicklung der Frontzahnfüllungswerkstoffe
Zahnärztl.Mitt.6,7, 316 - 322, 374 - 381 (1978)

63. RIETHE,P./ MAUPAI,F.: Klinische Untersuchungen mit den Fissurenversieglern vom BISGMA-Typ
Dtsch.zahnärztl.Z.30, 502 - 507 (1975)

64. RIPA,L.W.: Occlusal sealing: rationale of the technique and historial review.
JOSPD (Jan-Febr.1973)

65. RIPA,L.W./ GWINETT,A.J./ BUONOCORE,M.G.: The prismless outer layer of deciduous and permanent enamel.
Arch.oral.Biol. 11, 41 - 48 (1966)

66. RUPRECHT,W.: Über die Adhäsion von Fissurenversiegelungsmaterialien vom BISGMA-Typ an menschlichem Zahnschmelz.
Diss.der ZMK-Klinik Uni.Tüb. (1975)

67. SCHUMACHER,G.H./ SCHMIDT,H.: Anatomie und Biochemie der Zähne
Stuttgart:Fischer 155-176 (1972)

68. SCHWEIZER,B.: Erste klinische Erfahrungen mit Enamelite und Restodent. Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 83, 1179 (1973)

69. SCOTT,J.J./ SYMONS,N.B.B.: Introduction to dental anatomy 7ed, Edinburgh und London: Livingstone, 188 - 207 (1974)

70. SHARPE,A.N.: Influence of the crystal orientation on human enamel and its reactivity to acid as shown by high resolution micro - radio - graphy Arch.oral Biol.12, 583 - 591 (1967)

71. SHARPE,E.C./ GRENOBLE,D.E.: Dental resin penetration into acid etched subsurface enamel ISCDA 39, 741 - 746 (1972)

72. SHEYKHOLESLAM,Z./ BUONOCORE,M.G.: Bonding of resins to phosphoric acid etched enamel surfaces of pernament and deciduous teeth. I Dent Res 51, 1572 (1972)

73. SILVERSTONE,L.M.: Symposium über die Schmelztechnik. Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 85, 279 (1975)

74. SILVERSTONE,L.M.: Fissure sealants: Laboratory Studies. Caries Res. 8, 2 - 26 (1974)

75. STOCK,M.V.: Organic constituents of enamel J.Amer.dent.Ass.48, 297 - 306 (1954 I)

76. SVEEN,O.B.S./ HINDING,H.H.: Sealants - a milestone in preventive dentistry? Sonderdruck aus Northwest Dentistry 50 Nr. 6

77. TRIADAN,H.: Erleichterung und Verbesserung von Konturenfüllungen an Milchmolaren. Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 84, 1291 (1974)

78. TRIADAN,H.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zweier "Composite"-Füllungsmaterialien Dtsch.zahnärztl.Z.29,806 (1974)

79. TRIADAN,H.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen über das Verhalten sogenannter Ätz-Adhäsiv-Composite-Kunststoffe. Dtsch.zahnärztl.Z.30, 721-725 (1975)

80. TRIADAN,H.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen dreier Komposit-füllungsmaterialien nach ein-jähriger Funktionszeit. Schweiz.Mschr.Zahnheilkunde 86, 531 - 545 (1976)

81. VAHL,J.: Gesunder und pathologisch ver-änderter Zahnschmelz. Eine mikroskopische und biokristall-ographische Strukturanalyse. Sammlung Meusser, Heft 43, J.A.Barth,Leipzig (1971)

82. VAHL,J./SLUKA,H.: Gefügeuntersuchungen generali-sierter Zahnhartgewebsanomalien Dtsch.zahnärztl.Z.33, 404 - 410 (1978)

83. VAHL,J./ WOSIEWITZ,U.: Feinreliefstudien Konditionier-ter Schmelzoberflächen und ihrer Adhäsiv-Matrizen bei der Zahn-schmelzversiegelung Dtsch.zahnärztl.Z.31, 35 - 46 (1976)

84. VAHL,J./MIERAU,H.D./ OECHSNER,H.: Elektronenmikroskopische Unter-suchungen an Zahndünnschliffen nach Ionenbeschuß bei unter-schiedlichen Einfallswinkeln. Dtsch.zahnärztl.Z.27, 909-916 (1972)

85. WEI,S.H.Y. Remineralization of enamel and dentine, a review. I DENT CHILD 34, 444-451 (1967)

Herrn Professor Dr. Reinhold Mayer danke ich herzlich für die Überlassung des Themas, seine hilfreichen Anleitungen und für viele Anregungen.
Weiterhin gilt mein besonderer Dank Herrn Hüttemann vom Geologischen Institut der Universität Tübingen, der mir mit seiner tatkräftigen Unterstützung bei der Herstellung der rasterelektronenmikroskopischen Bilder zur Seite stand.

LEBENSLAUF

Am 2.8.1954 wurde ich, Ekkehard Schierle, als erster von zwei Söhnen des Werner Schierle und seiner Ehefrau Friedhild Schierle geb. Schmidinger in Gaildorf, Kreis Backnang geboren. Meine Einschulung in die Volksschule des damaligen Wohnortes Frickenhofen erfolgte im April 1961. Im Oktober 1962 zogen meine Eltern mit mir nach Walheim/Neckar um, wo ich die Grundschule bis zum März 1965 besuchte. Am 1.4.1965 Eintritt ins Gymnasium Besigheim, dort Ablegung der Reifeprüfung am 5.6.1973.

Meine Erstimmatrikulation erfolgte an der Universität Tübingen im Fach Zahnmedizin am 12. März 1974. Dort legte ich am 25.3.1975 die Naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnärzte, am 11.10.1976 die Zahnärztliche Vorprüfung und am 19.6.1979 die Zahnärztliche Prüfung ab.

Meine Bestallung als Zahnarzt erfolgte am 2.7.1979 durch das Regierungspräsidium Stuttgart.

Am 30.7.1979 wurde ich zur Bundeswehr eingezogen, wo ich seit 13.8.1979 im Rahmen meines Grundwehrdienstes in der Heinrich-Hertz-Kaserne in Birkenfeld/Nahe als Stabsarzt tätig bin.